

**Міністерство освіти і науки України  
Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова  
Херсонська філія**

Енерготехнічний факультет  
Кафедра автоматики та електроустаткування

**Рекомендовано до захисту**  
Завідувач кафедри автоматики та  
електроустаткування  
\_\_\_\_\_ Михаліченко П.Є.  
(підпис) (прізвище, ініціали)  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**Пояснювальна записка**  
до кваліфікаційної роботи магістра

на тему: «Розробка діагностичних моделей гребної електричної установки  
змінного струму»

Здобувач 6 курсу, групи 6367зм  
за спеціальністю: 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
(шифр і назва спеціальності)  
Освітньо-професійна програма:  
«Експлуатація суднових автоматизованих  
(назва)  
систем»

	<u>Онищенко М.В.</u>	_____
	(прізвище та ініціали)	(підпис)
Керівник	<u>Костюченко В.І.</u>	_____
	(прізвище та ініціали)	(підпис)
Рецензент	<u>Білюк І.С.</u>	_____
	(прізвище та ініціали)	(підпис)

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова

Херсонська філія

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення Енерготехнічний

Кафедра, циклова комісія Автоматики та електроустаткування

Освітньо-кваліфікаційний рівень другий, (магістерський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

(шифр)

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва)

Освітньо професійна програма «Експлуатація суднових автоматизованих систем»

(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри автоматики  
та електроустаткування**

Михаліченко П.Є.

“\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

## **З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Онищенко Максим Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка діагностичних моделей гребної електричної установки змінного струму

Керівник роботи: к.т.н. Костюченко Віталій Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу

від “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року №\_\_\_

2. Строк подання здобувачем роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи Розробити діагностичні моделі виконавчого пристрою гребної електричної установки, що включають в себе методи оцінки, алгоритми і програми діагностування

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз виконавчого пристрою гребної електричної установки як об'єкта діагностування; 2. Розробка і аналіз діагностичних моделей ВП ГЕУ змінного струм; 3. Охорона праці; 4. Охорона навколишнього середовища

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
презентація в електронному виді

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
-	-		
-	-		
-	-		
-	-		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз виконавчого пристрою гребної електричної установки як об'єкта діагностування.	вересень 2019 р.	
2	Розробка і аналіз діагностичних моделей ВП ГЕУ змінного струму.	лютий 2020 р.	
3	Дослідження впливу дефектів на працездатність ВП ГЕУ.	травень 2020 р.	
4	Підготовка розділів з охорони праці та охорони навколишнього середовища	вересень 2020 р.	
5	Оформлення магістерської роботи.	листопад 2020 р.	

Здобувач

( підпис )

Онищенко М.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

( підпис )

Костюченко В.І.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Об'єм пояснювальної записки становить 112 аркушів, вона містить 4 розділи, 43 рисунків, 3 таблиці, 49 найменувань в списку використаної літератури. Мультимедійна презентація представлена на 10 слайдах.

Об'єктом дослідження магістерської роботи є виконавчий пристрій гребної електричної установки.

Предметом досліджень є діагностичні моделі виконавчого пристрою гребної електричної установки змінного струму.

Метою роботи є розробка діагностичних моделей гребної електричної установки змінного струму.

В кваліфікаційній роботі проаналізовано надійність елементів виконавчого пристрою гребної електричної установки змінного струму. Розглянуто чинники, що впливають на надійність елементів гребної електричної установки при експлуатації, а також методи підтримки безвідмовності і підвищення ремонтпридатності. Проаналізовано методи діагностування елементів гребної електричної установки змінного струму. Побудовано структурні і функціональні схеми виконавчого пристрою гребної електричної установки змінного струму з асинхронним двигуном і з синхронним двигуном. Розроблено діагностичні моделі виконавчого пристрою гребної електричної установки змінного струму. Розроблено алгоритм перевірки ступеня працездатності виконавчого пристрою гребної електричної установки змінного струму.

Також розглянуто положення міжнародної конвенції МАРПОЛ 73/78 по запобіганню забруднення з суден.

**Ключові слова:** гребна електрична установка, діагностична модель, діаграма проходження сигналів, об'єкт діагностування, суднове електрообладнання.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВИКОНАВЧОГО ПРИСТРОЮ ГРЕБНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ ЯК ОБ'ЄКТА ДІАГНОСТУВАННЯ	
1.1. Вибір типу виконавчого пристрою гребної електричної установки в якості об'єкта дослідження .....	11
1.2. Аналіз надійності ВП ГЕУ змінного струму .....	24
1.3. Аналіз причин зниження працездатності ВП ГЕУ змінного струму .....	28
1.4. Методи діагностування ВП ГЕУ змінного струму.....	31
1.5. Характеристика виконавчого пристрою змінного струму як об'єкта діагностування.....	36
Висновки до розділу 1 .....	40
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА І АНАЛІЗ ДІАГНОСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВП ГЕУ ЗМІННОГО СТРУМУ	
2.1. Класифікація і вибір діагностичної моделі .....	41
2.2. Побудова ДМ ВП ГЕУ змінного струму у вигляді діаграми проходження сигналів .....	46
2.2.1. Структурні схеми системи векторного управління ВП ГЕУ змінного струму .....	47
2.2.2. Функціональні схеми системи векторного управління ВП ГЕУ змінного струму .....	51
2.2.3. Діагностичні моделі ВП ГЕУ змінного струму у вигляді діаграми проходження сигналів.....	59
2.3. Аналіз чутливості діагностичних моделей ВП ГЕУ змінного струму .....	62
2.4. Розробка діагностичних моделей ВП ГЕУ змінного струму в ORCAD .....	71
2.5. Дослідження впливу дефектів на працездатність ВП ГЕУ .....	77
Висновки до розділу 2 .....	82
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ	
3.1. Загальні положення .....	83

3.2. Небезпечні та шкідливі фактори на судні .....	83
3.3. Організація безпеки праці при експлуатації і ремонті суднового електрообладнання .....	87
3.4. Розрахунок штучного освітлення.....	90
РОЗДІЛ 4. ВИМОГИ ДО КОНСТРУКЦІЇ СУДЕН ТА ЇХ ОБЛАДНАННЯ ЩОДО ЗАПОБІГАННЯ ЗАБРУДНЕННЮ НАФТОЮ	
4.1. Обсяг нагляду .....	92
4.2. Вимоги до машинних відділень усіх суден.....	96
ВИСНОВКИ.....	107
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	109

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АД - асинхронний двигун  
ВП - виконавчий пристрій  
ГГ - гребний гвинт  
ГЕД - гребний електродвигун  
ГЕУ - гребна електрична установка  
ГРК - гвинт регульованого кроку  
ГФГ - гвинт фіксованого кроку  
ДМ - діагностична модель  
ДПС - діаграма проходження сигналів  
КТ - контрольна точка  
ОД - об'єкт діагностування  
ПЧ - перетворювач частоти  
РС - регулятор струму  
РШ - регулятор швидкості  
САПР - система автоматизованого проектування  
САР - система автоматичного регулювання  
СД - синхронний двигун  
СД - система діагностування  
СЕО - суднове електрообладнання

## ВСТУП

На сучасних морських судах встановлені численні і різноманітні механізми і системи, що забезпечують роботу енергетичної установки і суднових пристроїв, в тому числі і гребної електричної установки (ГЕУ). В основному механізми приводяться в дію за допомогою електроприводів, а в ГЕУ - виконавчого пристрою (ВП). З ростом потужності встановлених на судах виконавчих пристроїв зростають і вимоги безпеки, безвідмовності і довговічності до експлуатації. Такі вимоги можуть бути забезпечені шляхом встановлення пристроїв захисту, проте такий підхід ускладнює схему, що і знижує надійність ВП ГЕУ.

ВП ГЕУ можуть бути досить ефективними тільки за умови високої надійності, яка закладається при проектуванні пристроїв. Тривалий час надійність досягалася введенням різноманітних коефіцієнтів запасу при розрахунках, що забезпечують полегшення режимів, в яких працювали пристрої в цілому при виконанні ними своїх функцій, що приводило до збільшення їх терміну служби. При цьому пристрої виходили великими за масою і розмірами. Неможливість забезпечення абсолютної безвідмовної роботи пристрою і, як наслідок, його високу ефективність зажадала пошуку нових шляхів вирішення проблеми. Підвищення ефективності експлуатації пристрою пов'язано з необхідністю оцінки їх стану, що і визначило формування нового наукового напрямку - технічна діагностика. Слід зауважити, що стан пристроїв в якійсь мірі оцінювалося і раніше за штатними приладами. Але обмежена інформація про стан пристроїв ускладнювала встановлення причини порушення в їх роботі. Пошук дефектів вимагав великих витрат часу. Обмежена інформація не дозволила виявити дефекти елементів пристрою, які явно не відбивалися на його функціонуванні, але підвищували ймовірність відмови з плином деякого часу.

Технічна діагностика, завдяки теорії, методів і засобів діагностування, дозволяє визначити технічний стан (запас працездатності) ВП ГЕУ, виявляти дефекти і усунути подібні відмови шляхом технічного обслуговування і ремонту.



Процес діагностування передбачає взаємодію об'єкта з технічними засобами діагностування і оператором, які об'єднуються в систему діагностування (СД). На другому етапі проектування СД проводиться розробка діагностичного забезпечення об'єкта. Розробка діагностичного забезпечення починається з вибору типів і побудови діагностичних моделей, при цьому реальний об'єкт замінюється діагностичною моделлю (ДМ), яка повинна відображати закони функціонування або зміни стану об'єкта. При побудові ДМ допускається деяка ідеалізація, яка абстрагує відповідним чином основні властивості об'єкта. ДМ можуть бути описані в аналітичній, табличній, векторній, графічній формі. Вибір ДМ багато в чому визначається специфічними особливостями побудови, використання і експлуатації об'єкта. Систематизація моделей повинна полегшити проектувальнику прийняття рішення при виборі і визначенні методів аналізу ДМ.

Стан ВП ГЕУ визначається сукупністю діагностичних оцінюваних параметрів. Як правило, судити про стан ВП ГЕУ можна або по правильності і якості виконання покладених на нього функцій, або за значенням сукупності параметрів, що відображають зміни, що відбуваються в його структурі або в елементах, що входять в нього.

В даний час для ВП ГЕУ застосовуються методи як тестового, так і робочого діагностування, які розроблені і застосовані для окремих частин ВП ГЕУ. Відсутні методи побудови і аналізу ДМ ВП ГЕУ, алгоритми пошуку дефектів до необхідної глибини, аналізу контролепридатності, які враховують їх особливості діагностування. Тому розробка діагностичного забезпечення ВП ГЕУ, що включає в себе методи оцінки, алгоритми і програми діагностування, є актуальним завданням.

Об'єктом дослідження магістерської роботи є виконавчий пристрій ГЕУ.

Предметом досліджень є діагностичні моделі ВП ГЕУ змінного струму.

Цілі та задачі дослідження:

- підтримка безвідмовності і підвищення контролепридатності виконавчого пристрою ГЕУ при експлуатації судна за призначенням за рахунок формування

сукупності діагностичних параметрів і побудови алгоритму пошуку дефектів при зниженні його ступеня працездатності.

- аналіз і обґрунтування актуальності діагностичного забезпечення ВП ГЕУ змінного струму;
- формування переліку оцінюваних діагностичних показників і умов працездатності ВП ГЕУ, визначення ознак наявності дефектів;
- розробка і аналіз діагностичних моделей типів ВП ГЕУ для визначення контрольних точок і побудови алгоритму пошуку причин, що призводять до зниження ступеня працездатності ВП ГЕУ змінного струму;
- побудова математичних моделей елементів ВП ГЕУ змінного струму для розробки його діагностичних моделей в САПР;
- дослідження впливу дефектів елементів на ступінь працездатності ВП ГЕУ.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань використовувалися методи теорії графів, теорії автоматичного управління, теорії чутливості, комп'ютерних методів дослідження на базі стандартних програмних продуктів.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше розроблені діагностичні моделі ВП ГЕУ змінного струму (з асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором і з синхронним двигуном з обмоткою збудження) у вигляді ДПС, в основу яких покладено методи та структурні схеми векторного управління електроприводами.
2. Вперше розроблені процедури пошуку причин, що призводять до зниження ступеня працездатності ВП ГЕУ і алгоритм визначення достовірності діагностування ІВП ГЕУ.
3. Діагностичні моделі ВП ГЕУ побудовані в САПР Orcad відрізняються тим, що дозволяють змінювати параметри елементів ВП ГЕУ в широких діапазонах і імітувати перехід ВП ГЕУ з області працездатності в область непрацездатності та наоборот.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВИКОНАВЧОГО ПРИСТРОЮ ГРЕБНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ ЯК ОБ'ЄКТА ДІАГНОСТУВАННЯ

### 1.1. Вибір типу виконавчого пристрою гребної електричної установки в якості об'єкта дослідження

Рух судна здійснюється за допомогою гребної установки, яка складається з первинного двигуна (джерела механічної енергії обертання), передавального пристрою і суднового рушія. Найчастіше в якості первинних двигунів використовуються двигуни внутрішнього згоряння, парові і газові турбіни. Передавальні пристрої можуть бути механічними (безпосередня передача або через редуктор), гідравлічними (через редуктор і гідравлічну муфту) і електричними. Установки з електричною передачею енергії до гребним гвинтів називаються гребними електричними установками. При електричній передачі рушій приводиться в обертання за допомогою гребного електродвигуна, який отримує живлення через щит електроруку від генератора, що приводиться в обертання первинним двигуном [24].

Структурна схема ГЕУ показана на рис. 1.1. ГЕУ складається з кількох елементів: первинних двигунів (ПД), генераторів (Г), гребних електродвигунів (ГЕД) і гребних гвинтів (ГГ). Крім цих основних елементів до складу ГЕУ входять щит електроруку (ЩЕР), перетворювач частоти (ЧП), пост управління (ПУ) і допоміжні механізми, що обслуговують основні елементи.

Виконавчий пристрій (ВП) включає в себе гребний електричний двигун, рушій - гребний гвинт і систему автоматичного регулювання САР. Слід взяти до уваги, що кожна складова частина в цьому комплексі може мати кілька типових форм (наприклад, ГЕД можуть бути двигуни постійного струму, асинхронні двигуни, синхронні двигуни; рушії можуть бути гребні гвинти, гребні колеса, гребні ротатори; САР в залежності від принципу регулювання ГЕД можуть бути різноманітними). Залежно від конструктивного розміщення і динамічного забезпечення ВП ГЕУ можуть бути традиційними (ГЕД розміщується в

машинному відділенні і з'єднується з гребним гвинтом через вал і редуктор, а гребний гвинт знаходиться за кормою судна) і пропульсивний Pod. Пропульсивний Pod розташований поза корпусом і за кормою судна. Цей виконавчий пристрій може вільно обертатися на 360 градусів навколо шахти і маневренно управляти напрямком ходу судна [28].

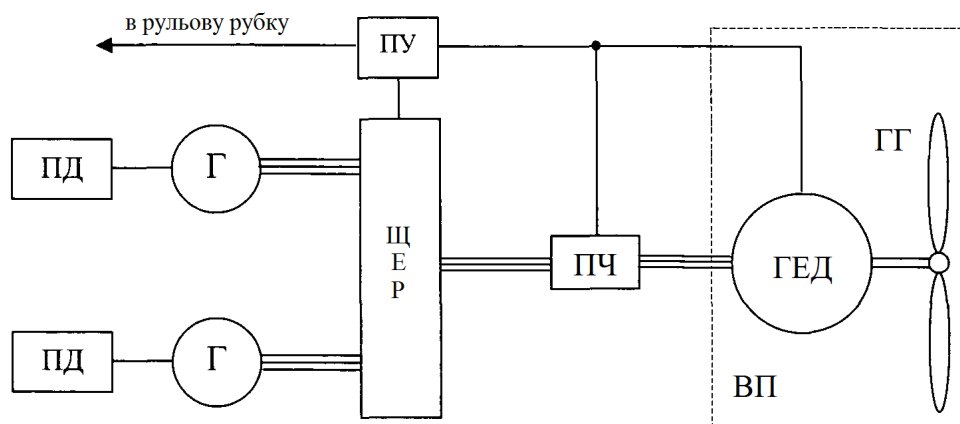


Рисунок 1.1. - Структурна схема ГЕУ

Сучасні ВП ГЕУ мають досить велику різноманітність типів, що ускладнює при огляді розгляд і аналіз їх характерних особливостей. Однак за деякими, найбільш істотним ознаками, ВП ГЕУ можуть бути класифіковані в такий спосіб: по виду конструктивного розміщення, за типом гребних електричних двигунів з точки зору електромеханіки, по типу гребних гвинтів з точки зору механіки і за способом зчленування з гребними валами (рис. 1.2).

По виду конструктивного розміщення виділяють ВП ГЕУ традиційні і пропульсивні «Pod». Традиційні ВП ГЕУ будують з окремих елементів, причому ГЕД розміщують на станині в машинному відділенні і з'єднують з гребним гвинтом через довгий вал. Гребний гвинт зазвичай встановлюється за кормою судна і знаходиться під водою. Гребний вал, який в залежності від розташування машинного відділення на судні може складатися з однієї або декількох з'єднаних через глухі муфти частин, повинен передавати момент обертання двигуна на гребний гвинт. У порівнянні з ВП, побудованими на основі безпосереднього з'єднання ГВ з тепловим двигуном (дизель або турбіна), подібні ВП ГЕУ програють по к.к.д., вартості, масою і габаритами. Традиційні ВП ГЕУ

застосовуються в основному на судах певного призначення: криголамах, науково-дослідних судах, кабелеукладач, рибпромислових судах, а також на підводних човнах.

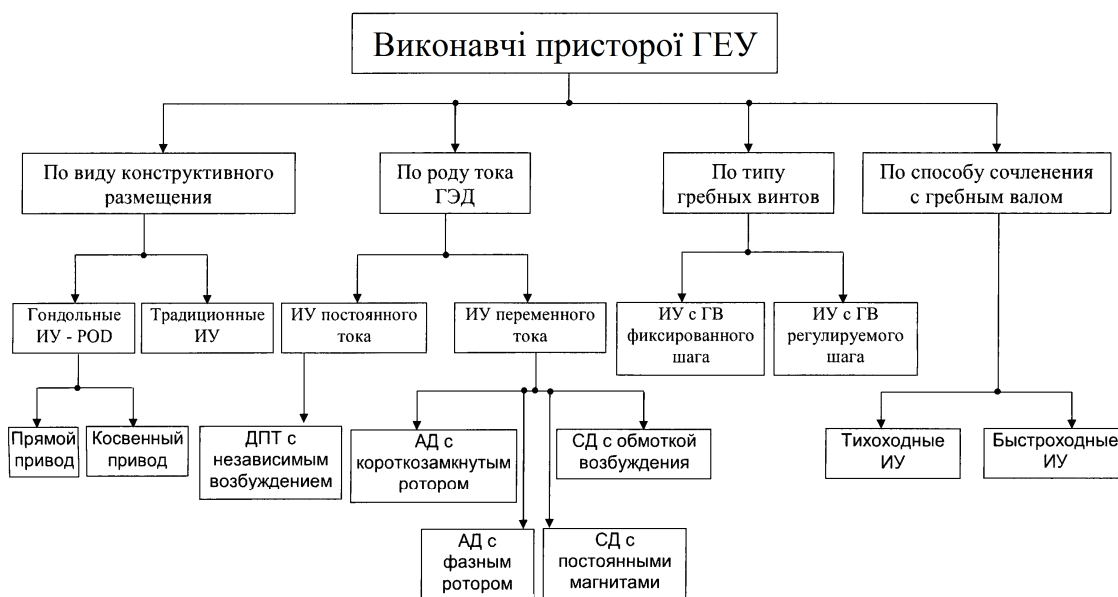


Рисунок 1.2. - Класифікація виконавчих пристроїв гребних електричних установок

Залежно від типу приводу «Pod» можуть мати прямий привід (Азіпод) і непрямий привід (гвинторульові колонки). ВП ГЕУ типу «Азіпод» (рис. 1.3) являє собою розміщений в гондолі головний електричний рушій і рульовий механізм, що приводить в рух гребний гвинт фіксованого кроку (ГФК) з регульованою частотою обертання. Установка «Азіпод» складається з наступних основних компонентів і систем: гребний гвинт; руховий модуль, в якому розміщується гребний електродвигун. Цей тип ВП ГЕУ дозволяє встановити гребний гвинт поруч з гребним двигуном, зменшуючи гребний вал і супроводжуючі механізми. Непрямий пропульсивний привід включає гвинторульову колонку (підрулюючий пристрій), у якій гребний двигун встановлений в корпусі судна, а механічна передача енергії до гребного гвинта здійснюється через механізм передачі [21].

При установці «Азіпод» ГЕД встановлений в герметичній гондолі рушійного модуля. В якості ГЕД використовуються асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором (для систем з невеликою потужністю 5 МВт і нижче) і

синхронні двигуни (в системах з більш високою номінальною потужністю). Двигуни можуть бути одно- або дво- обмоточними, в залежності від номінальної потужності і вимог до резервування.

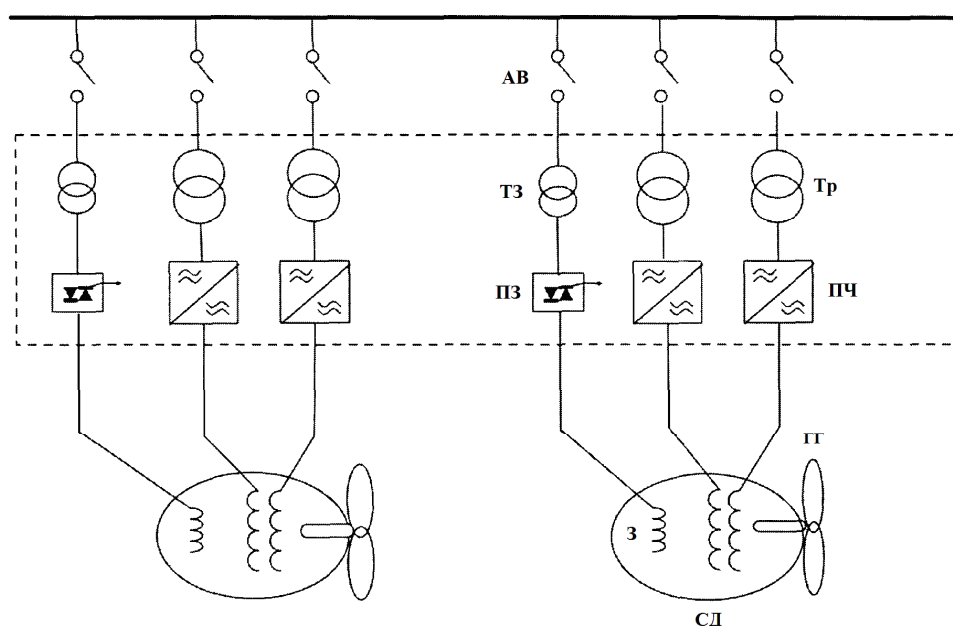


Рисунок 1.3. – Однолінійна схема пропульсивної установки «Pod»:

А - автоматичний вимикач. ТЗ - трансформатор збудника, ПЗ - перетворювач збудника; З - збудник; СД - синхронний двигун; ГГ - гребний гвинт, ПЧ - перетворювач частоти; Тр - трансформатор

В якості рушіїв в «Pod» застосовуються гвинти фіксованого кроку, це пов'язано з тим, що частотою його обертання і крутним моментом керує перетворювач частоти [10].

ВП ГЕУ типу «Азіпод» має цілу низку істотних переваг, які дозволили йому набути широкого поширення: хороші динамічні якості і маневреність судна; безпеку плавання і резервування рушійної установки; компактність при конструюванні; надійність при експлуатації.

Однак «Азіпод» володіє високою вартістю. В даний час з розвитком напівпровідникових перетворювачів великої потужності ВП ГЕУ типу «Азіпод» широко застосовуються на криголамах, контейнеровозах, танкерах, бурових верстатах і пасажирських судах.

За типом гребних електричних двигунів з точки зору електромеханіки виконавчі пристрої ГЕУ підрозділяються на ВП з гребним електричним двигуном постійного струму та ВП з гребним електричним двигуном змінного струму [11].

Виконавчі пристрої ГЕУ постійного струму (рисунк 1.4) в яких обертання гребного гвинта наводиться в дію електродвигуном постійного струму (ДПС). У минулому, двигуни постійного струму використались досить широко в суднобудуванні. У надводному флоті вони встановлювались на криголамах, рейдових буксирах, поромах, пожежних і рятувальних судах. На судах застосовують двигун постійного струму з незалежним збудженням, тому що цей тип ДПС має просту конструкцію, легкість в управлінні у порівнянні з іншими типами ДПС. Реверсування ДПС з незалежним збудженням здійснюється зміною полярності напруги, що підводиться до обмотки збудження. Регулювання частоти обертання ДПС з незалежним збудженням теоретично може проводитися введенням додаткового резистора в ланцюг якоря, зміною напруги живлення якірного ланцюга двигуна при постійному потоці збудження і зміною струму (потoku) збудження. На практиці основним способом регулювання частоти обертання ДПС з незалежним збудженням є регулювання напруги, що підводиться до якоря двигуна. Однак, в даний час, як відомо, двигуни постійного струму є найменше вигідними машинами в порівнянні з електродвигунами змінного струму.

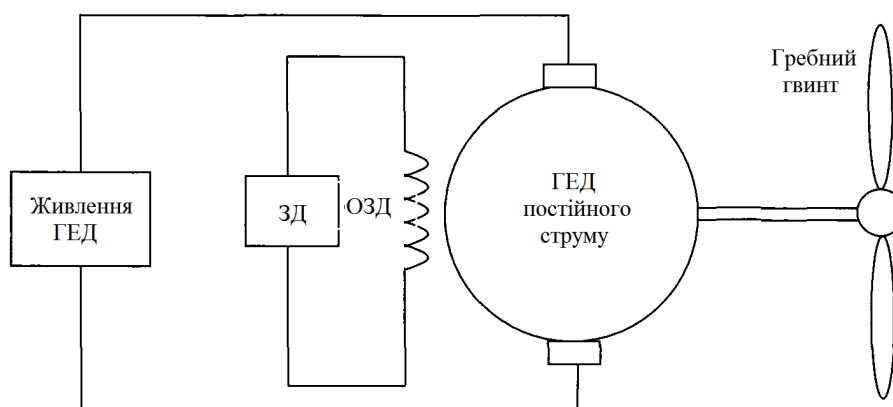


Рисунок 1.4. - Функціональна схема виконавчого пристрою постійного струму:

ЗД - збудник двигуна, ОЗД- обмотка збудження двигуна

Зазначені обставини викликані наступними характерними особливостями цього роду ВП:

- більшою в порівнянні з ВП змінного струму пристосованістю до дистанційного управління;
- легкістю широкого і плавного регулювання швидкості гребних двигунів постійного струму;
- можливістю зручного використання повної потужності двигунів при змінному значенні опору руху судна.

Поряд із зазначеними вище особливостями позитивного характеру ВП ГЕУ постійного струму мають цілий ряд недоліків. Найбільш істотними з них є: більша вага; підвищена вартість; низький ККД; складність обслуговування і т.д. ВП ГЕУ постійного струму найчастіше застосовуються на електроходах, підводних човнах, або ж на електроходах, від яких вимагаються особливо високі маневрені якості.

Виконавчі пристрої змінного струму - пристрої, в яких обертання гребного гвинта здійснюється електродвигуном змінного струму. ГЕД змінного струму може бути: асинхронний двигун з фазним ротором; асинхронний двигун з короткозамкненим ротором; синхронний двигун з обмоткою збудження і синхронний двигун з постійними магнітами.

В даний час ВП ГЕУ змінного струму знаходять застосування на транспортних і пасажирських судах великої тоннажності, які не вимагають спеціальних характеристик ГЕД, а також частих змін швидкості і напрямку руху, для яких важливе значення має економічність суднової енергетичної установки. ВП змінного струму дає можливість раціонального розташування завдяки своїй компактності в порівнянні з ВП постійного струму. Але з точки зору автоматичного управління ВП ГЕУ змінного струму має складністю при виконанні маневрів і необхідності змінювати швидкість обертання гребного електродвигуна [24].

ВП ГЕУ змінного струму з асинхронним двигуном з фазним ротором знаходять застосування головним чином на турбоелектроходах, які за своїм



призначенням, як наприклад, пороми, буксири, де вимагають від ГЕУ великих маневрених можливостей при широкому діапазоні швидкостей і моментів опору на гребних валах і при змінному характері їх робочих характеристик. ВП ГЕУ змінного струму з асинхронними двигунами з фазним ротором мають такі позитивні риси: великий пусковий момент і менший пусковий струм, можливість регулювання перехідних процесів електродвигуна за допомогою реостата в роторному ланцюзі або додаткової ЕРС, можливість зменшення часу реверсування електродвигунів.

Однак ВП ГЕУ з асинхронним двигуном з фазним ротором мають такі недоліки: великі габаритні розміри і маса, складна конструкція в порівнянні з короткозамкненим асинхронним двигуном, менший ККД у порівнянні з синхронним двигуном і т.д. Через свій великий розмір АД з фазним ротором в даний час мало застосовують на судах, які потребують компактність в розподілі машинного відділення.

Асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором знайшли широке застосування для ВП ГЕУ типу «Азіпод», завдяки своїм перевагам: високій надійності, простоті конструкції і меншій вартості в порівнянні з іншими типами ГЕД. Вони застосовуються на судах, де ГЕУ вимагає мало- і середньопотужний ГЕД. АД з короткозамкненим ротором володіє перевагами перед іншими: простота і надійність в конструкції, приблизно постійна швидкість при різних режимах роботи ГГ, можливість короткочасних механічних перевантажень, простота пуску і легкість його автоматизації, більш високі коефіцієнт потужності і ККД, ніж у АД з фазним ротором.

Поряд з вищезазначеними перевагами у АД з короткозамкненим ротором є недоліки: немає можливості керування швидкістю з боку ротора, утруднене регулювання швидкості обертання; великий пусковий струм; низький коефіцієнт потужності при недовантаженні.

Автоматичне регулювання швидкості обертання АД з короткозамкненим ротором здійснюється зміною частоти мережі живлення  $f_c$ , перемиканням пар полюсів обмоток статора  $p_n$  і зміною амплітуди напруги живильної мережі  $U_c$ . Два

перших способи пов'язані зі зміною частоти електромагнітного поля статора  $\omega_0$ , а останній спосіб є зміна ковзання двигуна при постійній частоті електромагнітного поля статора. Із застосуванням частотних перетворювачів в даний час широко застосовують методи регулювання швидкості на основі зміни частоти і амплітуди напруги мережі живлення. Для автоматичного регулювання частоти обертання АД з короткозамкненим ротором особливе місце займає перетворювач частоти з векторною системою регулювання швидкості. Дана система побудована на основі методу регулювання струму, що полягає в мінімізації частоти перемикання ключів інвертора при заданому рівні допустимих гармонійних спотворень струму. Система сама визначає параметри під'єданого двигуна і автоматично налаштовується на роботу з ним. Вона дозволяє регулювати частоту обертання як з використанням датчика швидкості, так і без нього. У разі відсутності датчика реальна частота обертання ротора ГЕД обчислюється по моделі.

Задача управління ВП ГЕУ при маневрених режимах судна може бути вирішена із застосуванням двоклітинних асинхронних двигунів. Для отримання меншого пускового струму і більшого пускового моменту ротор ГЕД асинхронного типу виконують з глибоким пазом або з подвійною білячою кліткою, оскільки наявність у двоклітинних двигунів другої клітини дає можливість надавати механічним характеристикам найрізноманітнішу форму.

Проте ВП ГЕУ з асинхронними двигунами (як з фазним ротором, так і з короткозамкненим ротором) мають великий недолік, який полягає в тому, що немає можливості регулювання коефіцієнта потужності в головному ланцюзі. Цей недолік стає особливо відчутним в тих випадках, коли число гребних валів в установці дорівнює двом і більше. Так як при низьких значеннях коефіцієнта потужності намагнічуючі струми робляться настільки значними, що втрачається можливість жити кілька ГЕД від одного головного генератора навіть при малих активних навантаженнях. Ця проблема вирішується ВП із застосуванням синхронного електродвигуна з обмоткою збудження (рисунок 1.5) або з постійними магнітами. Оскільки ці двигуни допускають регулювати коефіцієнт потужності, коли бажано підвищити економічність і зменшити первісну вартість.

Синхронні двигуни використовують в установках більшої потужності, при цьому ротор забезпечується зовнішнім джерелом постійного струму - збудником ГЕД. Збудник може бути обладнаний з контактною щіткою або без щітки. Для установки «Азіпод» використовують синхронні двигуни без контактної щітки. Ротор збудника встановлено на загальному валу з ротором ГЕД і перетворює змінний струм в постійний шляхом обертання випрямляча. Випрямляч з'єднується з ротором ГЕД за допомогою кабелів, прикріплених до валу. Істотним достоїнством синхронного двигуна є високий момент на низькій частоті обертання, а помітні його недоліки - великі витрати виробництва, наявність живлення обмоток ротора і втрати електроенергії в роторі.

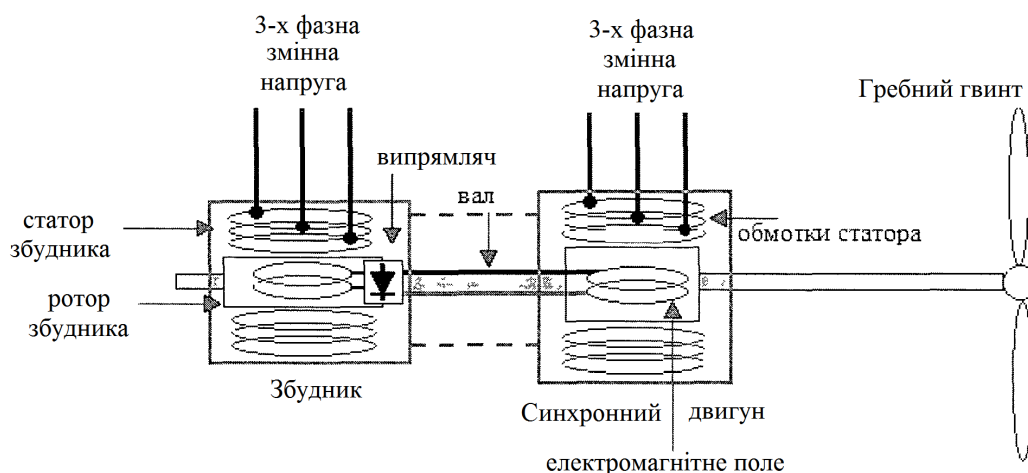


Рисунок 1.5. - Структурна схема ВП ГЕУ з синхронним двигуном з обмоткою збудження без контактної щітки

Ці недоліки можуть бути усунені з використанням синхронних двигунів з постійними магнітами.

ВП ГЕУ змінного струму з синхронними двигунами мають такі позитивні якості над асинхронними:

- можливість отримання оптимального режиму по реактивній енергії шляхом регулювання струму збудження;
- висока перевантажувальна здатність;
- стабільна швидкість обертання в межах перевантажувальної здатності;
- менша чутливість до зміни напруги мережі живлення;

- крім того, з конструктивної точки зору: у ГЕД синхронного типу менша кількість контактних кілець і менший їх переріз, ця обставина дає можливість скорочення довжини двигуна, можливість використання більш легких валів зважаючи на більший зазор між статором і ротором.

Поряд із зазначеними вище позитивними якостями ВП змінного струму з синхронним двигуном мають такі недоліки: складна конструкція; складна експлуатація; високі витрати на виготовлення.

За типом гребних гвинтів виконавчі пристрої можуть бути поділені на: ВП з гребним гвинтом фіксованого кроку (ГФК у якого положення лопатей незмінно) та ВП з гребним гвинтом регульованого кроку (ГРК у якого положення лопатей змінюється в залежності від необхідної швидкості судна за допомогою спеціального пристрою) [28].

Найбільш поширеним і зручним рушієм, який витіснив поступово всі інші види рушіїв, є в даний час гребний гвинт, що вигідно відрізняється від інших рушіїв вищим ККД, порівняно меншими розмірами і властивістю легше підкорятися конструктивним вимогам. Гвинти на сьогоднішній день - найбільш ефективні судові рушії, ККД кращих з яких досягає 80%. Найчастіше він лежить поблизу 60%, а у деяких суден буває помітно менше.

У ГРК лопаті синхронно розгортаються навколо власних осей, перпендикулярних гребному валу. В результаті чого змінюється і крок гвинта. Діапазон кутів розвороту лопатей дозволяє змінити напрямок упору гвинта з переднього на задній хід судна, не змінюючи напрямку обертання гребного валу (тобто напрямку обертання валу ГЕД). Тенденція застосування ВП з ГРК в суднобудуванні зростає, хоча для деяких типів суден існує конкуренція з боку ГЕД з регульованою частотою обертання, що призводять в дію ГФК.

ВП з ГРК широко використовують на буксирах, рибпромислових та інших типах суден, що працюють як в режимі ходу без буксирування, так і в режимі буксирування, завдяки своїй здатності використовувати повну експлуатаційну потужність двигуна при різних швидкостях ходу і опорах руху судна. На цих судах ГРК часто розміщуються в напрямних насадках з метою додаткового

збільшення тяги на гаку при обмежених діаметрах гвинтів. ВП з ГРК має здатність створення великої сили тяги на малій швидкості руху судна. Тому ВП з ГРК використовують на судах, які, в силу специфіки своєї роботи, вимагають утримання в заданому динамічному положенні за допомогою ГГ. Гнучкість ГРК дозволяє максимально ефективно використовувати ВП з ГРК в різних режимах роботи судна. Якщо крок ГРК і частота обертання двигуна регулюються незалежно, то можуть бути задані небажані або неприйнятні комбінації цих двох параметрів, що призводять до перевантаження, кавітації або підвищеної витрати палива. Щоб уникнути цього, крок ГРК і частота обертання двигуна зазвичай регулюються єдиною комбінованою рукояткою, яка розміщується на ходовому містку. Цією рукояткою задається необхідна відповідність між цими параметрами.

Гребні ГФК відповідають двигуну і корпусу тільки на одному режимі, який характеризується абсолютно певними значеннями відносної ходи, коефіцієнтів упору і моменту. ВП з ГФК може бути сконструйовано для роботи судна в режимі буксирування, але в такому разі не використовувати повну потужність двигуна при ході без вантажу і швидкість судна буде знижена. Тяга, що розвивається ГФК і ГРК при роботі двигуна по обмежувальній характеристиці, показана на рис. 1.6. Очевидно, що перевага застосування ГРК буде тим більше, чим більше різниця в опорі судна на вільному ході і з вантажем.

За способами з'єднання з гребними валами гребні електричні двигуни, що застосовуються в гребних електричних установках з механічної точки зору можна поділити на дві основні групи:

- тихохідні ГЕД з безпосереднім з'єднанням їх з гребним валом;
- швидкохідні ГЕД, що працюють на гребні гвинти через редуктори.

Належність ГЕД до першої або другої групи в значній мірі відбивається на його габаритах і конструкції. ГЕД можна поділяти на малооборотні (частота обертання до 350 об / хв), середньооборотні (350 ... 750 об / хв) і швидкохідні (частота обертання знаходиться зазвичай в межах 700 ... 1200 об / хв в залежності від їх потужності).

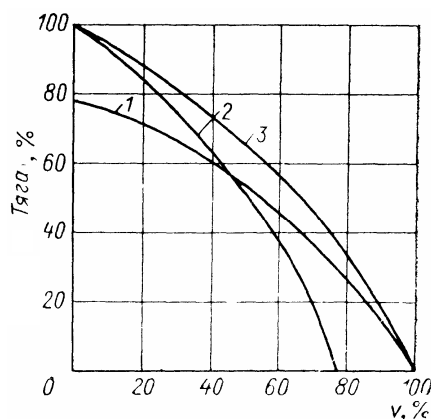


Рисунок 1.6. - Криві тяги гвинтів при роботі по обмежувальній характеристиці:

1 – ГФК, спроектований на вільний хід; 2 – ГФК, спроектований на швартовий режим; 3 - ГРК

Велика розманітність схем побудови ВП ГЕУ не дозволяє знайти універсального вирішення проблеми діагностування їх стану в процесі експлуатації. Як об'єкт дослідження обрано виконавчий пристрій ГЕУ змінного струму, оскільки він має такі переваги:

- більш проста і надійна конструкція в порівнянні з конструкцією ВП постійного струму;
- більш високий ККД. Відсутність колектора зменшує втрати на тертя і втрати в щітковому контакті, а застосування високої напруги - втрати в міді пристроїв змінного струму;
- менша маса гребних електродвигунів. Порівнюючи масу синхронних машин і машин постійного струму однакової потужності і частоти обертання, можна помітити, що маса синхронних машин на 35% менше;
- менша вартість. Вартість ГЕД змінного струму нижче, ніж гребних електродвигунів постійного струму.

При виборі ВП ГЕУ для нового судна враховується багато факторів. Не всі з них можуть бути пояснені тільки фінансовими міркуваннями. Тому конструктори повинні враховувати як вартість, так і маневреність, надійність, зручність обслуговування, гучність, підготовленість екіпажу і вплив на навколишнє середовище.

Як показано вище, ВП ГЕУ змінного струму має переваги перед іншими, тому що вони надійніші, економічніші і зручніші при регулюванні або автоматичному управлінні. В даний час вони знайшли широке застосування в сфері суднобудування. Структурна схема автоматичного регулювання ВП ГЕУ змінного струму показана на рис. 1.7.

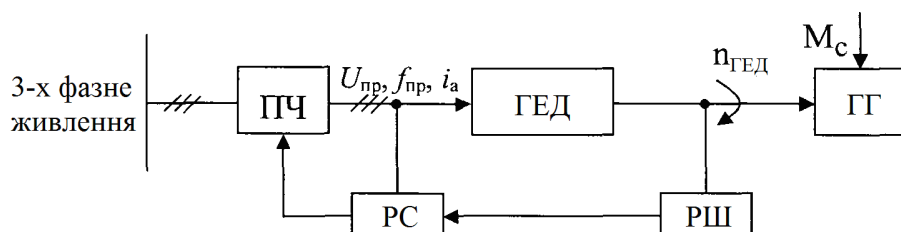


Рисунок 1.7. - Структурна схема автоматичного регулювання ВП ГЕУ змінного струму

На цій схемі джерелом живлення є електрична мережа трифазної напруги. Автоматичне регулювання ВП ГЕУ змінного струму може здійснюватися системою двоконтурного управління по струму і швидкості. Зворотній зв'язок по швидкості обертання через регулятор швидкості (РШ) передає на регулятор струму (РС) заданий сигнал. Вихідним сигналом регулятора струму є сигнал управління ключами перетворювача частоти (ПЧ). ГЕД змінного струму отримує напругу живлення  $U_{пр}$  з частотою  $f_{пр}$  від ПЧ. ГЕД перетворює отриману електроенергію в механічну - обертання гребного валу з частотою  $n_{ГЕД}$ . Передача механічної енергії від ГЕД до гребного гвинта здійснюється безпосередньо (тихохідні двигуни) або через редуктор (швидкохідні двигуни). Залежно від умов і режимів роботи ВП ГЕУ гребний гвинт виробляє різні значення моменту опору, прикладеного на валу ГЕД.

Як об'єкт дослідження розглядається ВП ГЕУ змінного струму, яке включає гребний електродвигун змінного струму (асинхронний з короткозамкнутим ротором, синхронний з постійними магнітами і синхронний з обмоткою збудження) і гребний гвинт фіксується кроку. А в якості системи автоматичного регулювання частоти обертання ГЕД вибирається система з перетворювачем частоти векторного управління.

## 1.2. Аналіз надійності ВП ГЕУ змінного струму

Надійність суднового електрообладнання (СЕО) є одним з найважливіших факторів, що роблять істотний вплив на економічні показники технічної експлуатації суден. Досвід експлуатації суднового устаткування показує, що ефективність і безпеку його функціонування можливі тільки при високій надійності. Відмови елементів суднового устаткування в експлуатації завдають значної матеріальної шкоди народному господарству. Однак суднове обладнання працює в умовах сумісної дії численних руйнівних чинників, в результаті чого інтенсифікуються процеси втомних і зносових явищ, що призводить до зниження працездатності елементів СЕО. Тому необхідно закладати надійність при проектуванні, забезпечити при виготовленні, підтримувати при експлуатації [2,4].

Надійність СЕО тісно пов'язана з різними сторонами експлуатації його елементів. Під терміном надійність розуміється властивість технічного об'єкта виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення його експлуатаційних показників у встановлених межах, що відповідають заданим режимам та умовам застосування, технічного обслуговування, ремонту, зберігання і транспортування. Під надійністю ВП ГЕУ розуміється його здатність безвідмовно працювати з незмінними технічними характеристиками протягом заданого проміжку часу за певних умов роботи і виключити небезпечні ситуації для людей і навколишнього середовища. При цьому ВП ГЕУ має бути працездатним. Працездатність ВП ГЕУ визначається його станом, при якому він здатен виконувати задані функції, зберігаючи значення основних параметрів в межах, встановлених нормативно-технічною документацією.

Надійність ВП ГЕУ як складного технічного об'єкта не тільки залежить від надійності роботи його основних частин - магнітної системи, обмоток статора і ротора, підшипників, колектора або контактних кілець, щіткового пристрою, автоматичних регуляторів, редуктора, ступиці, лопатей гребного гвинта і т.д., а також від його структури, конструктивних і функціональних особливостей, умов роботи, ступеня захисту і т.п. Несправність будь-якої з цих частин може



призводити до відмови ВП ГЕУ і зупинці судна. Під терміном «відмова» розуміється подія, що полягає в порушенні працездатності технічного об'єкта. Причини відмови ВП ГЕУ називаються дефектами [5].

Зміна основних параметрів ВП ГЕУ до моменту виникнення відмови може бути раптовою або поступовою. Раптова відмова настає в результаті різкого стрибкоподібної зміни одного або декількох основних параметрів, наприклад: обрив фаз або міжфазне замикання статорних обмоток ГЕД, деформація лопатей гребного гвинта, розбалансування підшипників і т.д. Поступова відмова є тривалою, поступовою зміною параметрів через старіння або зношування, наприклад: погіршення опору ізоляції обмоток ГЕД, деградація змащуючого мастила і т.п. Залежно від ступеня втрати працездатності відмови ВП ГЕУ можуть бути повними або частковими.

Надійність ВП ГЕУ проявляється і витрачається в процесі експлуатації. Вона являє собою комплексну властивість, що включає безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збереженість. Розробка завдання діагностичного забезпечення ВП ГЕУ пропонує розглядати безвідмовність і ремонтпридатність.

Безвідмовність є властивість ВП ГЕУ безперервно зберігати свою працездатність протягом деякого часу (рейсу, навігації). Це найбільш важлива складова надійності ВП ГЕУ. Іноді у вузькому сенсі надійність ототожнюють з безвідмовністю. Безвідмовність ВП ГЕУ залежить від безвідмовності ГЕД, САР, ГГ і комплектуючих деталей, їх конструкції, схеми з'єднання і режимів роботи. Безвідмовність оцінюється кількісними показниками, до яких відносяться ймовірність безвідмовної роботи, параметр потоку відмов і напрацювання на відмову. Вірогідність безвідмовної роботи  $P$  - ймовірність того, що в межах заданого напрацювання не виникає відмова ВП ГЕУ.

На рис. 1.8 наведено графік зміни ймовірності безвідмовної роботи  $P$  в часі  $t$ . Після здачі судна заводом замовнику значення ймовірності безвідмовної роботи ВП ГЕУ близьке до одиниці (точка  $A$ ). За час транспортування елементів ВП ГЕУ і їх зберігання на базах ймовірність  $P$  знижується внаслідок старіння елементів,

впливу зовнішніх кліматичних умов і ряду інших факторів (точка  $B$ ). Після надходження елементів ВП ГЕУ на монтаж необхідно діагностувати їх стан, щоб запобігти можливості установки непрацездатного обладнання. В результаті усунення виявлених дефектів за час  $t_{\text{дв}}$  значення  $P$  підвищується майже до такого рівня, на якому вона була до транспортування і зберігання (точка  $C$ ). Положення характеристики працездатності елементів ВП ГЕУ, отриманої після відновлення (точка  $C$ ), обмежена зверху пунктирною лінією. Вона відповідає природному погіршенню безвідмовності елементів ВП ГЕУ з плином часу через старіння або знос [15].

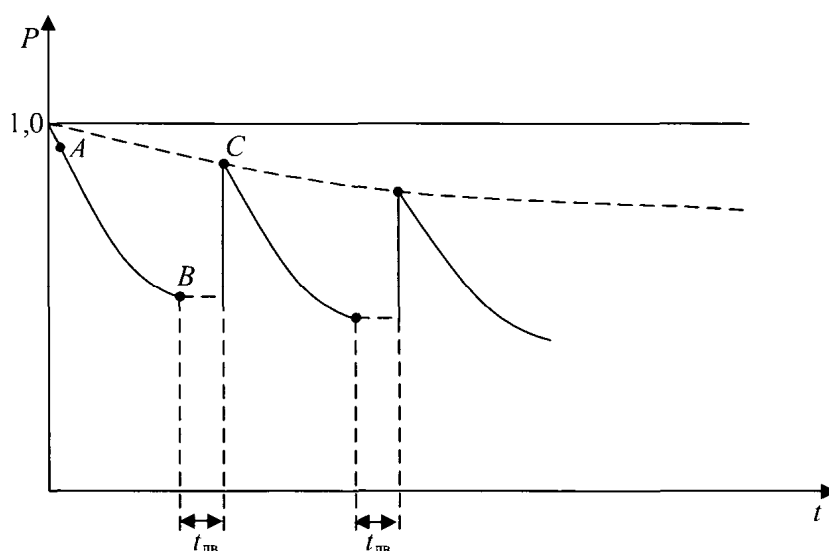


Рисунок 1.8. - Ймовірність безвідмовної роботи відновлюваного об'єкта

Параметр потоку відмов - щільність ймовірності виникнення відмови елементів ВП ГЕУ, що визначаються для розглянутого моменту часу. Це математичне очікування числа відмов в одиницю часу.

ГЕД змінного струму є ремонтпридатний виріб. Однак при відмові обмотки статора, що вимагає повного його перемотування, вартість ремонту приблизно дорівнює вартості виготовлення нового електродвигуна. Тому в разі такої відмови ГЕД з економічної точки зору можна розглядати як неремонтпридатний виріб.

Ремонтпридатність - властивість, що дозволяє виявляти і попереджувати причини виникнення відмов шляхом технічного обслуговування, а також усувати

їх шляхом ремонту. Елементи ВП ГЕУ і їх деталі можуть ремонтуватися в процесі експлуатації.

До кількісних показників ремонтпридатності відносяться ймовірність відновлення в заданий час і середній час відновлення [14]. В якості кількісної міри ремонтпридатності застосовується ймовірність того, що ВП ГЕУ буде відремонтована (або приведена у стан, придатний для використання). Зазвичай в якості основного показника ремонтпридатності використовується середній час відновлення, який складається з трьох складових: середнього часу пошуку дефекту, середнього часу усунення дефекту і середнього часу контролю.

Досвід технічної експлуатації показує, що при відновленні елементів ВП ГЕУ великий час витрачається на пошук дефектів. Поліпшення ремонтпридатності може здійснюватися шляхом розробки діагностичного забезпечення ВП ГЕУ, що дозволяє скоротити час пошуку дефектів сучасними методами і технічними засобами діагностування.

В результаті систематизації та обробки матеріалів гребних гвинтів різних типів суден встановлено, що інтенсивність появи тріщин і замін лопатей дозволяють визначити ймовірність безвідмовної роботи при відомому або заданому будь-якому ходовому часу. Отже, можна зробити висновок про надійність гребних гвинтів на цих інтервалах часу. Оцінка і зіставлення надійності гребних гвинтів окремих типів суден в період експлуатації в залежності від призначення виконуються за питомими показниками щілиноутворення, загину, ворову (забоїни), корозії, облому (втрати) і заміни лопатей.

Для істотного підвищення надійності ВП ГЕУ необхідне проведення комплексу заходів, що охоплюють сфери проектування, виробництва (виготовлення) та експлуатації. Максимальна надійність ВП ГЕУ досягається в тому випадку, коли на кожній стадії вирішуються свої специфічні завдання, а не здійснюватися виправлення помилок, допущених на попередніх етапах. При цьому величезне значення для створення надійних ВП ГЕУ має організація зворотного зв'язку (рисунок 1.9), за допомогою яких проектувальник отримує

інформацію про фактичну надійність, режимах експлуатації і досягнутому рівні надійності. Вибрані дані про надійність після оцінки відправляють до проектувальника, щоб поліпшити надійність ВП ГЕУ.

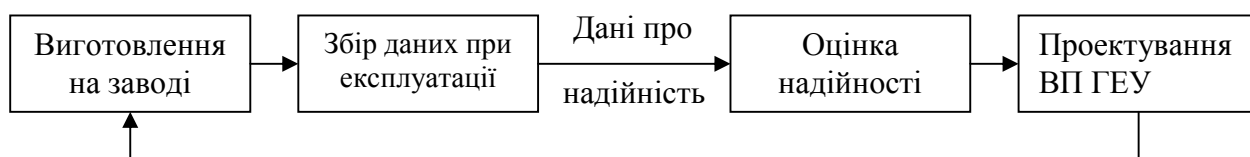


Рисунок 1.9. - Процедура підвищення надійності ВП ГЕУ

### 1.3. Аналіз причин зниження працездатності ВП ГЕУ змінного струму

ВП ГЕУ, як і суднове електрообладнання, при експлуатації працює в різних умовах тривалий час далеко від своїх баз. На них впливають багато факторів, які призводять до зниження їх працездатності. До основних факторів належать: тривалі статичні навантаження, динамічні навантаження, вібраційні навантаження, теплове і деформаційне старіння матеріалу, вологість навколишнього середовища, радіаційне опромінення, теплові поля, корозія і режими роботи.

Найбільш точні і достовірні відомості про розподіл відмов елементів ВП можуть бути отримані тільки в результаті багаторічного збору і обробки статистичних даних. Найпоширенішими чинниками є удари, вібрації і температура [14].

ГЕД працюють в дуже важких умовах, при незадовільному обслуговуванні або зовсім без будь-якого догляду. Тому в більшості випадків причинами відмов двигунів є неправильне їх застосування (15 ... 35% відмов), недоліки експлуатації (35 ... 50% відмов) або низька якість ремонту. Приблизно 30 ... 35% відмов відбувається внаслідок недоліків конструкції і технології виробництва двигунів. Лише 10 ... 12% двигунів відмовляють внаслідок природних процесів старіння і зношування.

Розподіл ушкоджень по окремих вузлах гребних електродвигунів змінюється в залежності від умов їх застосування, однак найбільше число

ушкоджень доводиться на обмотку статора. В середньому через пошкодження обмоток двигунів відбувається 85 .. 95% відмов, 3 .. 8% відмов відбувається внаслідок пошкодження підшипників. За характером пошкодження обмоток відмови асинхронних двигунів єдиної серії розподіляються наступним чином: міжвиткові замикання - 93%, пошкодження міжфазової ізоляції - 3%, зниження опору ізоляції за рахунок зволоження - 2%, пазової ізоляції - 2%. Таким чином, в переважній більшості випадків причиною відмов є пошкодження міжвиткової ізоляції. Пошкодження міжфазової і пазової ізоляції зазвичай виникають як наслідок міжвиткових замикань і представляють їх розвиток.

У великих асинхронних двигунах виткові замикання виникають рідше, тому що такі двигуни мають порівняно високу надійність і мають більший термін служби. Середній термін служби високовольтних двигунів становить 8..9 років.

Процес старіння починається одночасно з моменту початку роботи ВП. Після досить тривалого використання (кілька десятків тисяч годин роботи) на стан ВП починає позначатися старіння, причиною якого є фізико-механічні процеси, що відбуваються в елементах ВП протягом їх експлуатації. Особливо у гребних електричних двигунів (синхронного, АД з фазним ротором) старіння щіток полягає в зміні опору провідного шару і його стирання; монтажні дроти приходять в непридатність через висихання і розтріскування ізоляції. Механічні елементи і вузли ВП (редуктори, підшипники і т.д.) більше піддаються зношуванню, ніж старіння. Швидкість зношування і старіння визначається режимами експлуатації та інтенсивністю впливу інших факторів. З метою уповільнення процесу старіння широко застосовують герметизацію елементів або цілих вузлів. Зношування механічних елементів сповільнюється при своєчасному проведенні профілактичних заходів.

Місця розташування елементів ВП ГЕУ є специфічними, де є висока вологість і вібрації. Вологість є одним з найбільш сильно впливаючих чинників на ВП. При підвищеній вологості відбувається прискорене руйнування лакофарбових покриттів, порушення герметизації і заливок, окислення контактів. На елементи ВП сильний вплив надають бризки і пил морської води. У процесі

використання ВП удари і вібрації можуть привести до порушення цілісності кріпильних деталей.

Підвищення ступеня працездатності ВП ГЕУ в цілому і всіх її елементів має першорядне значення, оскільки відмова того чи іншого елемента може привести до зупинки судна з можливими несприятливими наслідками. Тому в схемах ВП ГЕУ повинні застосовуватися найбільш надійні елементи в морському виконанні, а самі схеми ВП ГЕУ повинні володіти високою живучістю і забезпечувати збереження ходу в аварійних випадках. Підвищення ступеня працездатності ВП ГЕУ призводить до збільшення габаритів пристрою в цілому, і отже до підвищення затрат.

Відмітимо основні дефекти, які можуть мати місце в ВП:

Гребні електродвигуни:

- 1) багатофазні короткі замикання;
- 2) виткові замикання обмотки статора - наймасовіший дефект (становить 77% відмов обмоток);
- 3) обрив фаз статора і ротора;
- 4) динамічні навантаження на ізоляцію;
- 5) неправильне з'єднання фаз обмоток (в зірку замість трикутника і навпаки);
- 6) обрив стрижнів в пусковій короткозамкненню обмотці;
- 7) розбалансування ротора;
- 8) режим перевантаження;

Гребний вал, редуктор:

- 1) розбалансування гребного валу;
- 2) несоосність пов'язаних валів;
- 3) погіршення якості мастила;

Гребні гвинти:

- 1) вигин гвинта;
- 2) знос лопатей;
- 3) поява тріщин;

Перетворювачі частоти:

- 1) короткі замикання тиристорів або транзисторів;
- 2) короткі замикання між каналами тиристорів або транзисторів;
- 3) обриви тиристорів або транзисторів;
- 4) обриви між каналами тиристорів або транзисторів.

Слід зауважити, що стан устаткування в якійсь мірі оцінювалося і раніше за штатними приладами. Але обмежена інформація про обладнання ускладнювала встановлення причини порушення в роботі. Пошук дефекту вимагав великих витрат часу. Обмежена інформація часто не дозволяла виявити дефект в об'єкті, який явно не відбивався на його функціонуванні, регульованому штатними приладами, але підвищував ймовірність відмови з плином деякого часу. Таким чином, для зниження інтенсивності відмов елементів ВП ГЕУ необхідно контролювати технічний стан, підвищуючи контролепридатність об'єкта. Задачу можна вирішити за рахунок раціонального застосування методів і засобів діагностування [16].

#### 1.4. Методи діагностування ВП ГЕУ змінного струму

Одним з основних етапів при розробці діагностичного забезпечення виконавчого пристрою ГЕУ є вибір методу діагностування. Правильний вибір може бути отриманий в результаті аналізу надійності і формування дефектів, що призводять до відмови ВП ГЕУ. Крім того, правильний вибір методу діагностування дозволяє виключити із розгляду вузли, відмова яких відбувається рідко [15].

Метод діагностування - сукупність прийомів і способів, що дозволяють дати об'єктивний висновок про стан ОД. Технічний стан об'єкта може бути визначено сукупністю діагностичних ознак, які можна оцінювати різними методами. Вибір методу дослідження залежить від специфіки ОД і умов його експлуатації. Діагностування технічного об'єкта може бути проведено в період використання, при якому об'єкт може виконувати робочі функції або переводитися в спеціальний

режим. Згідно проведеного аналізу, види дефектів елементів ВП ГЕУ дуже різноманітні, вони можуть бути механічними і електричними. Отже, методи для діагностування елементів ВП ГЕУ виявляться також різноманітними.

В різних режимах роботи ГЕД може перегріватися через деяких наслідків. З цієї точки зору для діагностування використовують теплові методи. Параметром теплового діагностування є температура, яка відображає перебіг робочого процесу. Теплове діагностування ГЕД пропонує встановлювати термодатчики, призначені для контролю допустимої температури машини, причому для цього застосовуються в основному контактні термометри, індикатори і переносні вимірювачі. У суднових енергетичних установках для вимірювання температури мастила найбільшого поширення набули конденсаційні манометричні термометри типів ТПП. Манометричні дистанційні термометри підшипників ковзання ГЕД обладнані електроконтактним пристроєм. При перевищенні заданого рівня температури контакти замикають електричний ланцюг системи сигналізації, таким чином, попереджається перегрівання підшипників. Для виявлення та попередження теплових дефектів обмотки двигуна застосовують термочутливі пристрої, засновані на використанні напівпровідникових резисторів (термістори і позистори). Датчики температури встановлюються на всіх трьох фазах двигуна. При нагріванні обмотки ГЕД опір позисторів збільшується і спрацьовує реле захисту, одночасно, замикаючи ланцюг сигналізації, що попереджає про перевищення температури обмотки. Для термометричного діагностування ротора ГЕД можна проводити оперативний контроль за допомогою безконтактних вимірювачів температури, які дозволяють виміряти температуру важкодоступних об'єктів, деталей, які перебувають під напругою [16].

Для контролю стану підшипників кочення ГЕД і якості їх змащення застосовують метод ударних імпульсів, який заснований на вимірюванні і реєстрації механічних ударних хвиль, викликаних зіткненням вала ГЕД і підшипника кочення. Прискорення обертання валу в точці удару викликає хвилю стиску, яка у вигляді ультразвукових коливань поширюється в усіх напрямках по підшипнику. Для вимірювання ударних імпульсів використовується



п'єзоелектричний датчик, на який не впливають фон вібрації і шум. При появі дефектів на біговій доріжці або кульках на загальному тлі виникають пікові значення ударів з великою амплітудою ( $dB_M > 35$  дБ). Удари виникають безладно, а значення фону  $dB_C < 20$  дБ, хоча при сильному пошкодженні підшипника можливе збільшення фону. Як правило, спостерігається велика різниця пікових значень і значення фону. При відсутності змащування або занадто щільній посадці підшипника збільшується фон підшипника  $dB_C > 20$  дБ, навіть якщо підшипник не має ще будь-яких пошкоджень на бігових доріжках.

При контролі працездатності елементів ВП ГЕУ найцікавіші частота обертання гребного валу, електромагнітний момент ГЕД і його потужність. Механічний переносний тахометр ІО-10 дозволяє вимірювати частоту обертання гребного валу від 25 до 10000 об / хв. Момент на гребному валу вимірюється торсіометром, заснованим на куті закручування вала, модулі зсуву матеріалу вала, полярному моменті інерції поперечного перерізу вала і довжині бази вала. Точність торсіометра залежить від правильності установки нульової точки і її перевірки. Потужність ГЕД може визначатися за результатами вимірювання моменту і частоти обертання гребного вала.

В останній часом набули широкого застосування методи діагностування електродвигунів змінного струму, які засновані на виконанні моніторингу споживаного струму з наступним виконанням спеціального спектрального аналізу, що дозволяє з високим ступенем достовірності визначати стан різних елементів ГЕД [16]. Фізичний принцип, покладений в основу цього методу, полягає в тому, що будь-які обурення в роботі електричної або механічної частини ГЕД і пов'язаного з ним пристрою призводять до змін магнітного потоку в зазорі електродвигуна і, отже, до слабкої модуляції споживаного електродвигуном струму. Відповідно наявність в спектрі струму незбіжних частот певної величини свідчить про наявність дефектів елементів ГЕД і пов'язаного з ним механічного пристрою. Структурна схема апаратно-програмного комплексу для виконання робіт з контролю стану електричної і механічної частини ГЕД на основі спектрального аналізу сигналів споживаного струму представлена на

рис. 1.10. До складу комплексу входять: роз'ємний струмовий датчик з лінійною частотною характеристикою, кондиціонер сигналу (фільтр низьких частот, що перешкоджає появі помилкових частот сигналу) при їх дискретизації, аналого-цифровий перетворювач (АЦП), персональний комп'ютер (ПК) з необхідним програмним забезпеченням для збору і обробки інформації. Оцифровані АЦП дані передаються в ПК, де виконується обробка: визначається частота обертання ГЕД і число пошкоджених стрижнів ротора, потім здійснюється спеціальний аналіз сигналу струму.

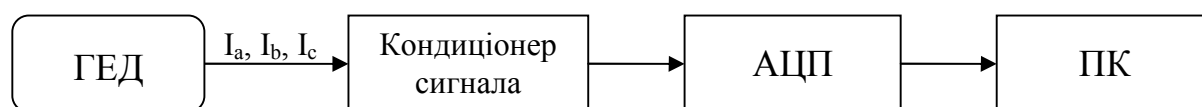


Рисунок 1.10. - Структурна схема діагностичного комплексу по спектральному аналізу споживаного струму ГЕД

Застосування зазначеного методу дозволяє провести повномасштабне натурне діагностування та аналіз умов роботи ГЕД і пов'язаного з ним гребного валу, істотно скоротити як витрати, пов'язані з відмовами обладнання, так і непродуктивні витрати електроенергії. Однак подвійний облік модульованої частоти по обидві сторони живлячої напруги обумовлює недостатню точність діагностування (ймовірність накладання частот від різних дефектів зростає в 2 рази) і відсутня можливість збільшення числа аналізованих гармонік частоти  $f$ .

Для виключення накладання частот від різних дефектів і, як наслідок, спотворення картини реального стану агрегату, пропонується аналіз спектрів модулів векторів струму і напруги, принципово заснований на методі спектр-струмового аналізу. За допомогою датчиків струму і напруги здійснюється запис в трьох фазах залежностей напруги і струму, споживаних електродвигуном, від часу. Записані сигнали пропускаються через фільтр низьких частот з частотою зрізу вище найбільшої корисної частоти сигналу, що необхідно для недопущення появи помилкових спектрів. Отримувані результати вимірювання є вибіркою значень, отриманих з певним кроком аргументу за часом. З аналогової форми записані сигнали перетворюються в цифрову за допомогою обчислювальних

засобів. Отримані спектри струму і напруги піддаються спектральному аналізу. При збігу всіх ліній в спектрах струму і напруги робиться висновок про відповідність спектра струму живлячої напруги в електричному ланцюзі ГЕД. А при виявленні невідповідностей спектра струму спектру напруги живлення можна зробити висновок про виникнення дефектів. Відповідність між сигналами виявляється шляхом порівняння значень амплітуд струму і напруги на характерних частотах зі значенням на частоті 0 Гц. Застосування цього методу дозволяє виявляти наявність дефектів ГЕД, таких як міжвиткових замикань в обмотках статора і пошкодження ротора, несоосності валів ГЕД і гребного валу, пошкоджень підшипника і т.д.

Для діагностування системи автоматичного регулювання ВП ГЕУ змінного струму використовується логічний метод. Застосування цього методу пропонує побудову логічної моделі САР на основі її принципової схеми, формування переліку вимірюваних параметрів, значення яких характеризують процеси перетворення сигналів, що відбуваються в елементах САР. При цьому кожен вимірюваний параметр САР перетворюється в дискретний двоїчний сигнал шляхом порівняння безперервних значень параметрів зі статутними сигналами, результатом якого є масив сигналів, які приймають тільки два значення:

- дискретний сигнал «1», коли величина параметра лежить всередині допустимих меж і елемент САР працездатний;
- дискретний сигнал «0», коли значення параметра знаходиться за межами статутних сигналів і елемент САР непрацездатний.

Прі цьому визначаються значення всіх вихідних параметрів елементів САР, які заносяться в матрицю стану. За рядками матриці записуються  $s_i$ , а по стовпцях - вихідні параметри елементів САР.

Для діагностування ГГ можна використовувати спосіб діагностики елементів конструкції гребного гвинта. Цей спосіб полягає в тому, що вимірюють параметри, пов'язані зі ступенем зношування елементів конструкції і порівнюють їх заздалегідь визначеними параметрами, відповідними працездатного стану елементів конструкції ГГ.

В якості параметра, що характеризує ступінь зношування конструкції, приймають електрорушійну силу індукції. Для чого збуджують в зоні контролю зовнішнє локальне постійне магнітне поле з силовими лініями, спрямованими уздовж площини обертання лопатей ГГ, створюють в контрольованих елементах конструкції гвинта вихрові струми шляхом обертання гвинта в постійному магнітному полі. Після цього вимірюють форму і амплітуду сигналів електрорушійної сили індукції вторинного змінного магнітного поля, що створюється вихровими струмами. Остаточно, визначають виникнення, розвиток і розташування дефектів по появі відмінностей у формі і амплітуді порівнюваних сигналів і їх розвитку в тимчасовій і частотній областях.

Як показано вище, що велика різноманітність видів дефектів і методів діагностування елементів ВП ГЕУ, а також значні розбіжності в поглядах на рішення задачі діагностування привели до того, що універсальних методів для даних цілей до теперішнього часу не запропоновано. У зв'язку з цим при проектуванні системи діагностування необхідно проектувальнику вирішувати завдання розробки діагностичного забезпечення.

#### 1.5. Характеристика виконавчого пристрою змінного струму як об'єкта діагностування

ВП ГЕУ змінного струму як об'єкт діагностування має наступні особливості:

1. Велика різноманітність виконавчих пристроїв по використовуваних в них типах гребних електродвигунів, а також за типами гребних гвинтів і по способам з'єднання між ними. Залежно від призначення судна використовують ГЕД змінного типу (АД з короткозамкненим ротором, синхронний двигун з обмоткою збудження і синхронний двигун з постійними магнітами), їх потужність вибирають по раціональним рішенням конструктора. ГЕД змінного струму відрізняються один від одного по конструкції ротора. Способи з'єднання між ГЕД і гвинтами різні: здійснюються безпосередньо (для тихохідних ГЕД) або через

редуктор (для швидкохідних ГЕД), що ускладнює вибір схеми ВП із заданим варіантом потужності і з заданою мережею напруги живлення. Крім того, в залежності від використаного ГЕД (реверсивний або неревверсивний) використовують гребні гвинти ГРК або ГФК. Це ускладнює отримання універсальних рішень при вирішенні задач діагностування.

2. Велике розмаїття конструкцій виконавчого пристрою. Статор ГЕД може бути в двоклітинному вигляді, ротор ГЕД може бути з фазами або з стрижнями, підшипники виконуються кульковими або роликовими, вентиляція може бути самовентиляція або незалежна і т.д. Це ускладнює методи і алгоритми пошуку дефектів.

3. Відмінності в структурі ВП ГЕУ змінного струму. ВП ГЕУ може бути побудовано в традиційному вигляді або у вигляді пропульсивного пристрою «Pod», що вимагає довгого гребного валу або скорочує його. Це ускладнює вибрати підходи до діагностування таких об'єктів.

4. Виконавчий пристрій з точки зору математичного опису моделі відноситься до безперервних об'єктів. Перетворення фізичних величин відбувається відповідно до закладених відносин і вимагає застосування подібних же принципів побудови алгоритмів діагностування.

5. Різний рівень показників безвідмовності елементів виконавчого пристрою ускладнює організацію діагностування. Для раціональної організації, необхідно враховувати різноманітність видів інформації про надійність ВП з урахуванням створення автоматизованих систем збору і обробки інформації.

6. Для визначення сукупності поширених дефектів ВП необхідно провести статистичний аналіз відмов ВП в експлуатації або вплив дефектів на працездатність при моделюванні. Найбільш точні і достовірні відомості про розподіл дефектів окремих вузлів і деталей ВП можуть бути отримані тільки в результаті багаторічного збору і обробки статистичних даних.

7. Виконавчий пристрій, як правило, відновлюваний об'єкт, так як в процесі експлуатації при відмовах в ньому окремих елементів, вони підлягають заміні. Завдяки сучасному проектуванню та монтажу елементи виконавчого пристрою

можуть бути замінені при виникненні відмов. Для забезпечення необхідної глибини і малого часу пошуку дефектів з малими витратами може здійснюватися тестове і робоче діагностування.

8. Велика розмаїття умов діагностування ВП. Елементи виконавчого пристрою розташовані в спеціальних, важкодоступних, або підводних місцях, де є висока вологість навколишнього середовища і вібраційний вплив, що ускладнює пошук дефектів і проводити заміну елементів, впливає на глибину пошуку дефектів.

9. Обмежені можливості відновлення ВП, що пояснюється недостатнім числом і невисокою кваліфікацією обслуговуючого персоналу, обмеженим обсягом запасних частин. Тому необхідно включити в алгоритм діагностування завдання контролю працездатності і пошуку найбільш ймовірних дефектів.

При розробці діагностичного забезпечення необхідно враховувати згадані вище особливості ВП, які дозволяють обґрунтовано спроектувати систему діагностування і правильно організувати експлуатацію ВП, забезпечити підтримку рівня надійності при експлуатації, закладеного при проектуванні [4].

Аналіз ВП ГЕУ змінного струму як об'єкта діагностування дозволяє запропонувати загальну процедуру постановлених завдань, яка представлена на рис. 1.11.

Вихідним для вирішення завдань є побудова діагностичної моделі, аналіз якої дозволяє отримати необхідну достовірність діагностування. Експериментальне дослідження можна здійснювати в системі автоматизованого проектування Orcad, яка дозволяє ілюструвати вплив дефектів на ступінь працездатності ВП ГЕУ.

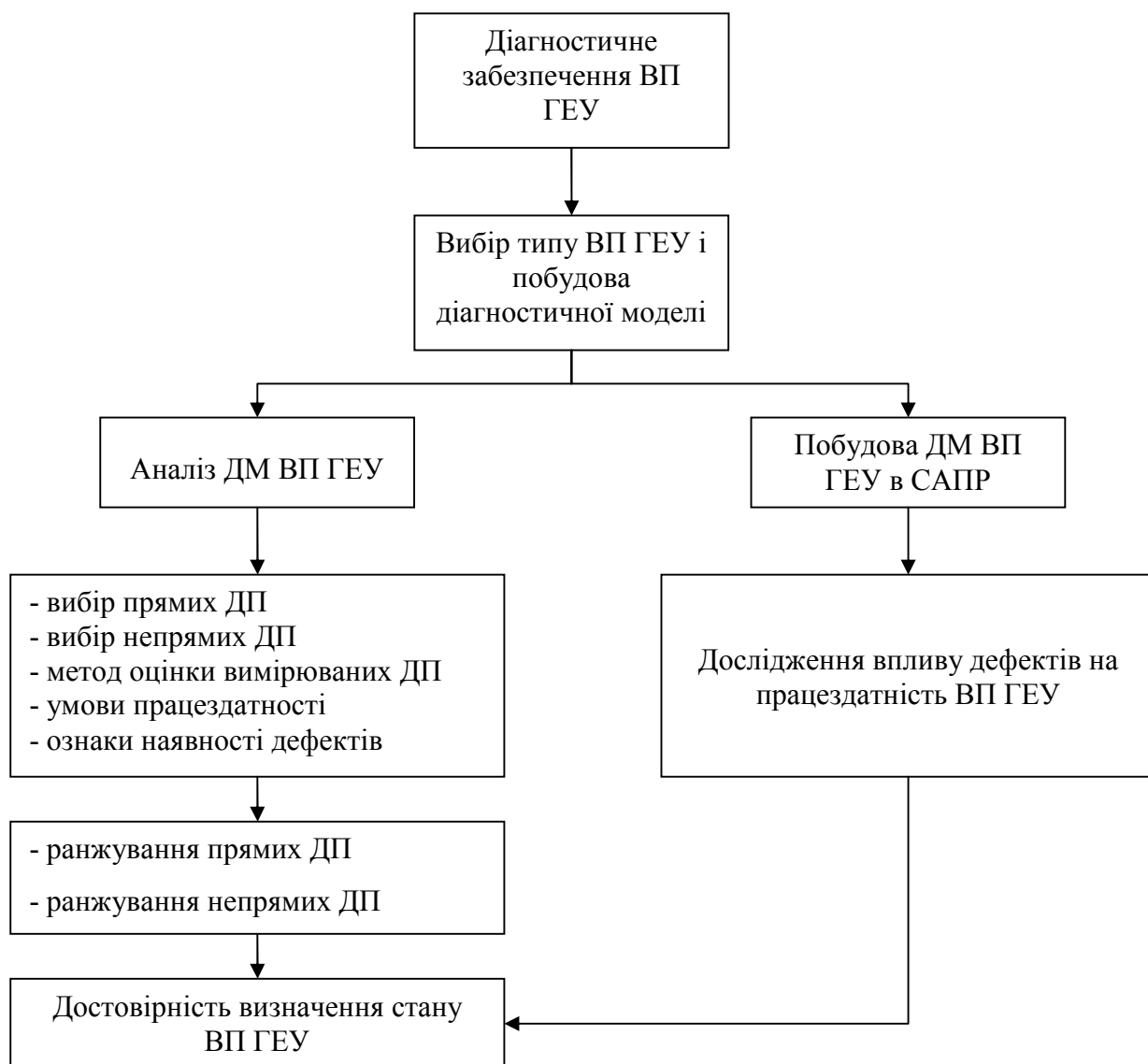


Рисунок 1.11. - Процедура розробки діагностичного забезпечення ВП ГЕУ

## Висновки до розділу 1

1. Класифіковано різні типи ВП ГЕУ, при цьому особливе місце для завдання діагностичного забезпечення займає ВП ГЕУ змінного струму.
2. Проаналізовано надійність елементів ВП ГЕУ змінного струму за двома основними властивостями - безвідмовності, ремонтпридатності. Розглянуто чинники, що впливають на надійність елементів ВП ГЕУ при експлуатації, а також методи підтримки безвідмовності і підвищення ремонтпридатності ВП ГЕУ.
3. Досліджено причини, що призводять до зниження працездатності ВП ГЕУ.
4. Проаналізовано методи діагностування елементів ВП ГЕУ змінного струму. Всі ці методи дозволяють виявляти електричні і механічні дефекти ВП ГЕУ. Недоліками таких методів є неможливість визначення ступеня і запасу працездатності ВП ГЕУ. Для підвищення контролепридатності ВП ГЕУ необхідно розробити діагностичне забезпечення, яке дозволить визначати ступінь і запас працездатності ВП ГЕУ.
5. Сформована структурна схема ВП ГЕУ змінного струму з основними електромеханічними параметрами. Виділено особливості ВП ГЕУ як об'єкта діагностування.



## РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА І АНАЛІЗ ДІАГНОСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВП ГЕУ ЗМІННОГО СТРУМУ

### 2.1. Класифікація і вибір діагностичної моделі

Організація діагностичного забезпечення ВП ГЕУ передбачає вибір типу, побудова та аналіз діагностичної моделі об'єкту діагностування (ОД) [39, 40].

Під моделлю зазвичай розуміється спрощений абстрактний або фізичний образ реального об'єкта (оригіналу), що підлягає вивченню. Отже, модель - наближена копія оригіналу, що відображає його певні властивості, найбільш важливі з точки зору розв'язуваної проблеми. На практиці застосовують кілька видів моделей: табличні, ієрархічні, графи, мережеві інформаційні моделі, об'єктно-орієнтовані моделі і т.д. Теоретичний аналіз ОД при вирішенні задач діагностування передбачає деяку ідеалізацію, яка абстрагує відповідним чином обрані істотні властивості об'єкта. Реальний об'єкт при цьому замінюється діагностичною моделлю.

Метою технічного діагностування є встановлення стану об'єкта діагностування. Встановити, відбулися або відбуваються зміни в стані об'єкту можна, порівнявши його поточний стан з наперед заданим еталонними [43].

Процес визначення технічного стану ОД називається діагностуванням. Розрізняють робоче та тестове діагностування. Судити про стан ОД можна або по правильності і якості виконання покладених на нього функцій, або за значеннями сукупності показників, що відображають зміни, що відбуваються в його структурі або в елементах, що входять в нього. При діагностуванні можуть вирішуватися такі завдання: контроль працездатності (КП), пошук місця і визначення причини дефекту (ПД), прогнозування зміни стану (ПЗС). При контролі здійснюється, як правило, якісна оцінка (допускаючи: ОД працездатний, непрацездатний, є дефект, дефект відсутній і т.п.), кількісна оцінка (ступінь працездатності).

Метод діагностування - сукупність операцій, дій, що дозволяють дати об'єктивний висновок про стан об'єкта. Діагностування може здійснюватися

різними методами. Сукупність приписів, що визначають впорядковану послідовність дій при проведенні діагностування, визначає алгоритм діагностування. Сукупність алгоритмів для оцінки стану об'єкта називається програмою діагностування.

Під терміном «діагностична модель» об'єкта мається на увазі його формальний опис за допомогою математичного або графічного вигляду. При побудові діагностичної моделі необхідно володіти про нього певними відомостями, такими, як структура, закони управління і регулювання, регульовані процеси і ін.

У загальному випадку діагностична модель відображає залежність вихідних параметрів об'єкта діагностування від його структурних (діагностичних) і вхідних параметрів. Для опису ВП ГЕУ використовують диференціальні рівняння, передаточні функції, табличні залежності, графи і т.д. Завданням розробки діагностичного забезпечення є найбільш ефективно використання відомостей про об'єкт для вибору типу і побудови моделі. Для складних ОД можуть знадобитися різні моделі для визначення працездатності, пошуку дефекту, прогнозування зміни стану, одночасно використовувати кілька моделей, що утворюють відповідно складну ДМ об'єкта, що враховує його структуру.

ВП ГЕУ змінного струму з точки зору електромеханіки і діагностики розглядається як безперервний об'єкт, тому необхідно використовувати діагностичні моделі безперервного типу.

Безперервні моделі представляють об'єкт в тому випадку, коли процеси що протікають розглядаються в безперервно змінному часі, який є аргументом відповідних функцій. Безперервні ДМ можуть бути описані алгебраїчними рівняннями (лінійні і нелінійні), диференціальними рівняннями (лінійні і нелінійні включаючи передаточні функції і характеристичні рівняння) або у вигляді орієнтованого графа (діаграма проходження сигналів). На практиці вони використовуються при розробці діагностичного забезпечення для окремих пристроїв і приладів суднової електроенергетичної системи (в тому числі для ВП ГЕУ).

Модель ОД у вигляді алгебраїчних рівнянь в загальному випадку може бути записана у вигляді:

$$Y = A \cdot X; \quad (2.1)$$

де  $X$  - вектор вхідних впливів;  $A$  - оператор перетворення, дія якого залежить від структури об'єкта;  $Y$  - вектор реакцій ОД;

$$X = \{x_i\}, \quad i = \overline{1, n}; \quad Y = \{y_j\}, \quad j = \overline{1, m};$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}, \quad \dim A = mn.$$

Якщо  $a_{ij} = \text{const}$ , то об'єкт описується лінійними алгебраїчними рівняннями, якщо  $a_{ij} = f(x)$ , то об'єкт описується нелінійними рівняннями.

Структура і параметри оператора  $A$  відображають показники якості роботи ОД. При цьому завдання перевірки працездатності і пошуку дефектів вирішуються перевіркою відповідності дійсного оператора  $A$  заданому  $A_0$ . Оператори  $A$  і  $A_0$  про повинні визначатися при фіксованому значенні характеристик вхідних впливів, тобто в одному режимі роботи ОД.

На практиці зазвичай використовують алгебраїчні рівняння для опису сталих процесів ОД. При цьому коефіцієнти цих рівнянь складаються з параметрів, що характеризують стан ОД. Наше завдання переходить до визначення, оцінки та порівняння цих коефіцієнтів з заданими граничними (допустимими) значеннями.

Диференціальні рівняння зазвичай використовують для опису динамічних (перехідних) і сталих (статичних) процесів ОД. У загальному випадку диференціальні рівняння можуть бути описані у вигляді:

$$p_n y^{(n)}(x) + p_{n-1} y^{(n-1)}(x) + \dots + p_0 y(x) = r(x); \quad - \text{лінійне}; \quad (2.2)$$

$$f(x, y, \frac{dy}{dx}) = 0; \quad - \text{нелінійне}; \quad (2.3)$$

При цьому коефіцієнти  $p_i$  ( $i = 0 \dots n$ ) представляють собою параметри, що характеризують структуру (конфігурацію) об'єкта (наприклад: коефіцієнт посилення блоку, постійна часу пристрою, момент інерції об'єкта і т.д.). Тоді

задача контролю працездатності зводиться до визначення, оцінки та порівняння цих коефіцієнтів з заданими граничними значеннями або з якимось критерієм для досягнення мети завдання. Математична модель безперервної системи являє собою або нелінійні (лінійні) рівняння або сукупність з'єднаних між собою лінійних і нелінійних блоків [8].

Рішення диференціальних рівнянь, що описують складний об'єкт, виявляється складним. Для полегшення цього завдання часто розбивають об'єкт діагностування на менші частини.

Передаточною функцією системи ОД називається відношення перетворення Лапласа вихідного сигналу до вхідного при нульових початкових умовах. У загальному вигляді передавальна функція  $W(p)$  може бути представлена наступним чином:

$$W(p) = \frac{X(p)}{U(p)} = \frac{b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n}; \quad (2.4)$$

де  $p$  - оператор диференціювання;  $U(p)$  - вхідний сигнал, що характеризується поліномом  $n$ -го порядку;  $X(p)$  - вихідний сигнал, який характеризується поліномом  $m$ -го порядку.

Передаточна функція  $W(p)$  визначена тільки для лінійних рівнянь (для лінійної моделі) і залежить тільки від самих диференціальних рівнянь. Оцінка стану безперервних об'єктів часто здійснюється за відповідністю їх динамічних характеристик номінальним (заданим). Отримати характеристики можна, аналізуючи диференціальні рівняння (передаточну функцію), що описує об'єкт, і розглядаються як аналітична ДМ. Однак, для досить складних об'єктів ці рівняння мають досить високий порядок, що ускладнює аналіз.

Неперервні моделі можуть бути описані лінійними диференціальними рівняннями у вигляді характеристичних рівнянь, які алгебраїчно представляють собою рівняння виду:

$$\begin{vmatrix} a_{11} - \lambda & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} - \lambda & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} - \lambda \end{vmatrix} = 0; \quad (2.5)$$

При такому описі елементи матриці  $\{a_{ij}\}$  є параметри об'єкта діагностування, наприклад: коефіцієнт посилення блоку, опір якірного ланцюга, індуктивність обмотки якоря, момент інерції, електромагнітна постійна часу і т.д.

У розкритому вигляді характеристичне рівняння записується так:

$$(-\lambda)^n + S_1(-\lambda)^{n-1} + S_2(-\lambda)^{n-2} + \dots + S_n = 0; \quad (2.6)$$

де  $S_1 = a_{11} + a_{22} + \dots + a_{nn}$  - слід матриці  $A$ ,  $S_2$  - сума всіх головних мінорів 2-го порядку і т.д., а  $S_n$  - визначник матриці. А коріння характеристичного рівняння можуть представляти діагностичні ознаки, наприклад: струми обмоток статора, частота обертання валу двигуна, потокозчеплення обмоток статора і т.д. Такі моделі застосовують для проектування діагностичного забезпечення складних об'єктів зі складним управлінням.

Для вирішення завдань діагностичного забезпечення безперервних об'єктів (в тому числі виконавчого пристрою ГЕУ) доцільно і ефективно при проектуванні застосовувати функціональні діагностичні моделі з методом аналізу діаграм проходження сигналів. Такий метод є одним з наочних уявлень ДМ. Оскільки діаграма проходження сигналів (ДПС) дозволяє розкрити не цілком очевидні, проте важливі для отримання діагностичного забезпечення властивості об'єкта. Крім того, її побудова не вимагає складання рівнянь безпосередньо за структурою об'єкта. При застосуванні ДПС немає необхідності вдаватися в фізичну сутність змінних і зв'язків в об'єкті, і використовують досить прості правила, можна здійснити аналіз ДПС і отримати діагностичне забезпечення об'єкта в процесі його проектування.

Об'єкт може бути описаний системою лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$x_j = \sum x_i T_{ij}; \quad (2.7)$$

де  $T_{ij}$  - оператор гілки, який спрямовує від  $i$ -го вузла до  $j$ -го вузла;  $x_i, x_j$  - відповідно змінні  $i$ -го і  $j$ -го вузлів. Нехай, наприклад:

$$\begin{cases} x_1 = T_{01}x_0 + T_{31}x_3 + T_{41}x_4 \\ x_2 = T_{12}x_1 + T_{32}x_3 \\ x_3 = T_{23}x_2 \\ x_4 = T_{34}x_3 \end{cases}; \quad (2.8)$$

Таку систему рівнянь можна записати діаграмою проходження сигналів:

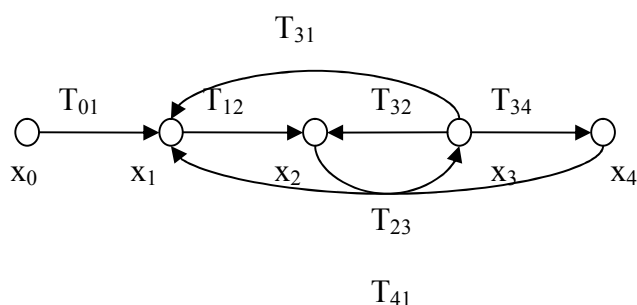


Рисунок 2.1. - Приклад діаграми проходження сигналів

ДПС зображується схемою (рисунок 2.1, що складається з вузлів (змінних), з'єднаних спрямованими гілками, кожній з яких відповідає свій оператор (коефіцієнт при змінних). Таким чином, ДПС не тільки дає можливість спрощення вихідної системи рівнянь, а й дозволяє використовувати безпосередньо для аналізу із залученням апарату теорії чутливості.

Поскільки ДПС має велику перевагу перед іншими варіантами, в даній роботі для проектування діагностичного забезпечення ВП ГЕУ обрана діагностична модель у вигляді діаграми походження сигналів.

## 2.2. Побудова ДМ ВП ГЕУ змінного струму у вигляді діаграми проходження сигналів

Структурна схема системи автоматичного регулювання показана на рис. 1.7. Дана система будується за принципом векторного управління, в яку може включатися датчик швидкості. Система автоматичного регулювання із зворотним зв'язком по швидкості дозволяє збільшити діапазон регулювання і забезпечити хороший пусковий момент. Бездатчикового регулювання швидкості дозволяє спростити схему управління і визначити вимірювану величину побічно через легкодоступні вимірюванню електричні змінні [39].

### 2.2.1. Структурні схеми системи векторного управління ВП ГЕУ змінного струму

Принцип векторного управління частотного регулювання ВП ГЕУ ґрунтується не тільки на зміні частоти і поточних значень змінних параметрів, але і на взаємній орієнтації їх векторів в полярній або декартовій системах координат. За рахунок регулювання амплітудних значень змінних і кутів між їх векторами забезпечується повне управління ВП ГЕУ як в статиці, так і в динаміці, що дає помітне управління якістю перехідних процесів об'єкту. При цьому повна керованість ВП ГЕУ забезпечується, якщо забезпечується управління електромагнітним моментом ГЕД. У загальному випадку система векторного управління ВП ГЕУ вирішує завдання регулювання і стабілізації моменту і швидкості обертання ГЕД.

Вибір рівняння для побудови системи управління ВП ГЕУ грає велику роль, тому що багато величини не можуть бути виміряні. Крім того, цей вибір істотно впливає на складність передавальних функцій системи, іноді в кілька разів збільшуючи порядок рівнянь.

Побудова системи автоматичного регулювання швидкості ВП ГЕУ за принципом векторного управління може здійснюватися прямо (безпосереднє вимірювання потокозчеплення ротора датчиком) і побічно (визначення потокозчеплення ротора по моделі потоку). З розвитком силових електроніки і мікропроцесорної техніки завдання створення системи векторного регулювання переходить від прямого до непрямого визначення потокозчеплення ротора за допомогою моделі потоку.

Структурна схема системи регулювання швидкості ВП ГЕУ змінного струму з АД з короткозамкненим ротором при векторному керуванні ГЕД і визначенні потокозчеплення ротора по моделі потоку, приведена на рис. 2.2. ГЕД живиться від перетворювача частоти з ланкою постійного струму і інвертором. Схема включає два контури регулювання струмів по прямій  $i_{1\alpha}$  і квадратурній  $i_{1\beta}$  осях. Ці контури включають в себе прямий і зворотній перетворювач координат

(ПКП і ПКЗ), які здійснюють пряме і зворотне перетворення Парка. На входах регуляторів струмів  $PC_\alpha$  і  $PC_\beta$  порівнюються між собою сигнали завдання струмів  $i_{1\alpha\beta}$  і  $i_{1\beta\beta}$ , і істинні значення відповідних струмів. Вихідні сигнали регуляторів струму  $u_{1\alpha\beta}$  і  $u_{1\beta\beta}$  є сигналами завдання напруги інвертора. В системі координат, що обертається напруги на виході інвертора  $u_{1a}$ ,  $u_{1b}$  і  $u_{1c}$ , які після перетворення їх в ПКЗ в обертovu систему координат, служать сигналами зворотного зв'язку по струму.

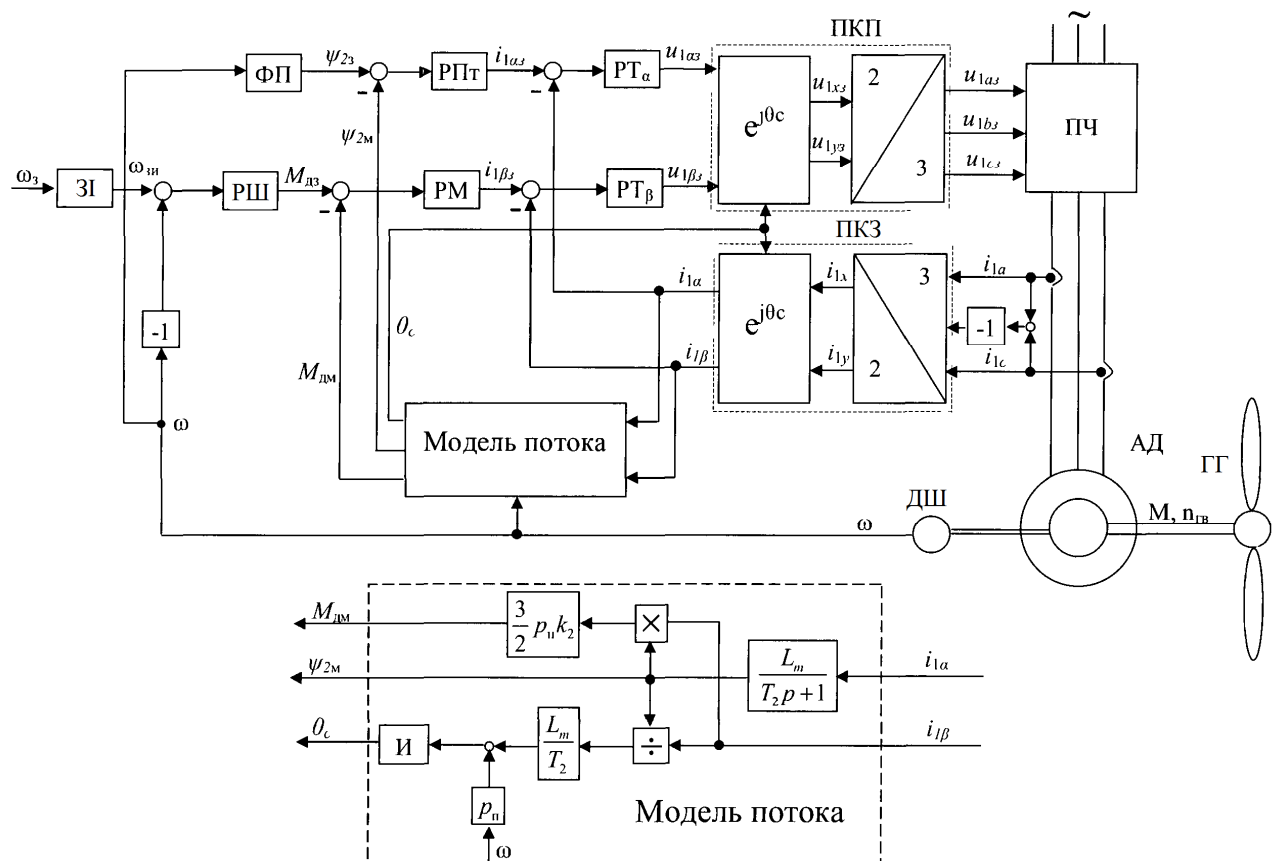


Рисунок 2.2. - Структурна схема системи векторного керування ВП ГЕУ з АД з короткозамкненим ротором:

ЗІ - задатчик інтенсивності; ФП - функціональний перетворювач; РПт - регулятор потоку; РШ - регулятор швидкості; РМ - регулятор моменту;  $PC_\alpha$  і  $PC_\beta$  - відповідно регулятори складових струму статора; ПКП - прямий перетворювач координат; ПКЗ - зворотний перетворювач координат; ГЕД - гребний електродвигун; ГВ - гребний гвинт; ПЧ - перетворювач частоти; ДШ - датчик швидкості.



При орієнтації дійсної осі системи координат, що обертається по вектору потокозчеплення ротора значення потокозчеплення однозначно визначається складовою струму статора по прямій осі  $i_{1\alpha}$ . При відомому значенні потокозчеплення розраховується значення частоти роторної ЕРС по складій струму статора по квадратурній осі  $i_{1\beta}$ . Крім того, в моделі потоку розраховується поточне значення кута повороту  $\theta_c$  системи координат, що обертається  $\alpha\beta$ , а також значення електромагнітного моменту  $M_{\text{дм}}$ . Сума обчисленого значення швидкості, помноженого на число пар полюсів і розрахованого в моделі значення роторної частоти, визначає поточне значення частоти напруги на статорі  $\omega_{\text{сел}}$ . Інтегрування цієї величини в інтеграторі (І) дає поточне значення кута  $\theta_c$ , яке використовується при прямому і зворотному перетворенні Парка.

Зовнішнім по контуру регулювання складової струму статора  $i_{1\beta}$ , є контур регулювання моменту з регулятором моменту (РМ). Контур регулювання швидкості з регулятором РШ замкнутий по сигналу  $\omega$  на виході датчика швидкості (ДШ).

Зміна сигналу завдання швидкості на виході ЗІ відбувається за лінійним чи іншим законом, що забезпечує плавний характер розгону і гальмування ГЕД ВП ГЕУ.

Дана схема містить два контури управління складових струмів статора ( $i_{1\alpha}$  і  $i_{1\beta}$ ), контур регулювання електромагнітного моменту  $M_{\text{д}}$ , контур регулювання потокозчеплення ротора  $\psi_2$  і контур регулювання швидкості  $\omega$ . Коефіцієнти зворотних зв'язків цих контурів ( $k_{\text{дт}}$ ,  $k_{\text{дм}}$ ,  $k_{\text{дпт}}$ ,  $k_{\text{дс}}$ ) заміняють задані значення відповідних величин в функціональній схемі ( $i_{1\alpha\text{з}}$ ,  $i_{1\beta\text{з}}$ ,  $\psi_{2\text{з}}$ ,  $M_{\text{дз}}$ ,  $\omega_{\text{з}}$ ).

Для регулювання швидкості ВП ГЕУ змінного струму, що використовує СД з обмоткою збудження, можна застосовувати систему векторного керування. Структурна схема даної системи представлена на рис. 2.3. Обмотки статора СД живляться від перетворювача частоти з автономним інвертором, керованим струмом. Змінні на вході ПЧ і на виході зворотних зв'язків за струмом статора представлені в полярній системі координат. Відповідно у вхідній ступені перетворювача ПКП здійснюється пряме перетворення змінних з полярної

системи координат в нерухому систему координат  $x_u$ , а у вихідній ступені перетворювача ПКЗ - зворотне перетворення з нерухомої системи координат в полярну.

В блоці полярних координат (БПК) вектор струму статора представляється в виді модуля вектора  $|\bar{I}_s|$  і його кута повороту  $\varphi$  відносно нерухомої системи координат. Ці перетворення позначені на схемі як ПО і ОП.

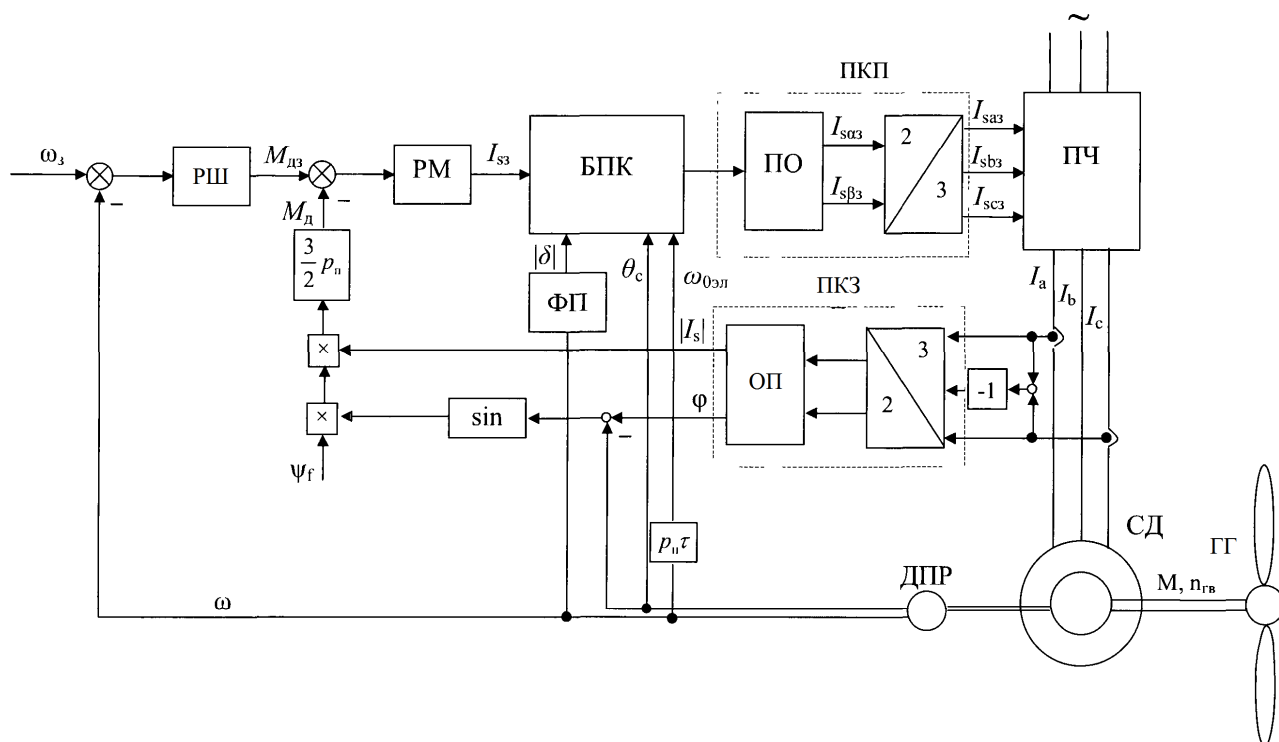


Рисунок 2.3. - Структурна схема системи векторного керування ВП ГЕУ з СД з обмоткою збудження

Система управління виконана як двоконтурна з контурами регулювання моменту і швидкості. Вихідний сигнал  $I_{s3}$  регулятора моменту (РМ) впливає на вхід блоку БПК. В схемі передбачено функціональний перетворювач (ФП), характеристика якого є залежність кута між вектором струму статора і поздовжньою віссю  $\delta$  від швидкості обертання. Значення цього кута підсумовується з сигналом  $\theta_c$  датчика положення ротора, що представляє собою кут повороту ротора і пов'язаного з ним вектора  $\bar{\psi}_f$  в електричному просторі.

Цією суммою є безперервно змінний в часі кут повороту вектора струму статора відносно нерухомої системи координат.

Для компенсації запізнювання в ПЧ, яке проявляється у відставанні синусоїд фазних напруг від відповідних сигналів, в БПК до кута  $\varphi$  додається випереджаючий кут  $p_n \omega \tau$ , що залежить від синхронної частоти і часу запізнювання  $\tau$ . Регулятори РМ і РШ мають обмеження вихідного сигналу. Перше з них задає граничне значення динамічного струму статора в перехідних режимах, а друге - обмеження моменту двигуна на допустимому значенні.

На відміну від СД з обмоткою збудження, СД з постійними магнітами отримує збудження від розташованих на роторі постійних магнітів. В математичному описі СД з постійними магнітами відсутнє рівняння обмотки збудження, а потокозчеплення, що отримується від постійних магнітів, входить в систему як вплив. З точки зору надійності СД з постійними магнітами володіє малим моментом інерції і кращим ККД через відсутність втрат на збудження. У загальному випадку структурна схема ВП ГЕУ, що використовує СД з постійними магнітами побудована простіше, ніж структурна схема ВП ГЕУ, що використовує СД з обмоткою збудження, так як в ній відсутня обмотка збудження, яка отримує живлення від зовнішнього джерела. При вирішенні завдання розробки діагностичного забезпечення ВП ГЕУ, що використовує СД, досить розглянути СД з обмоткою збудження.

### 2.2.2. Функціональні схеми системи векторного управління ВП ГЕУ змінного струму

Подання параметрів ВП ГЕУ в векторній формі може здійснюватися різними системами координат, такими як природна система координат  $abc$ , статорна система координат  $xu$ , синхронна система координат  $\alpha\beta$ , роторна система координат  $dq$ . Правильний вибір системи координат дуже важливий для побудови функціональної схеми автоматичного управління ВП ГЕУ. У загальному випадку, електричні машини змінного струму відрізняються одна від одної конструкцією

ротора. Для ВП ГЕУ з АД з короткозамкненим ротором використовується синхронна система координат, що обертається із синхронною швидкістю щодо статора. Перехід від трифазної моделі ГЕД до еквівалентної їй двухфазної, коли поточні змінні статора і ротора замінюються їх проекціями на взаємно перпендикулярні осі координат  $\alpha\beta$  (перетворення Clarke), істотно спрощує математичну модель.

Просторова векторна діаграма ВП ГЕУ, що використовує асинхронний двигун з короткозамкненим ротором при орієнтації системи координат по потокозчепленню ротора, показу а на рис. 2.4.

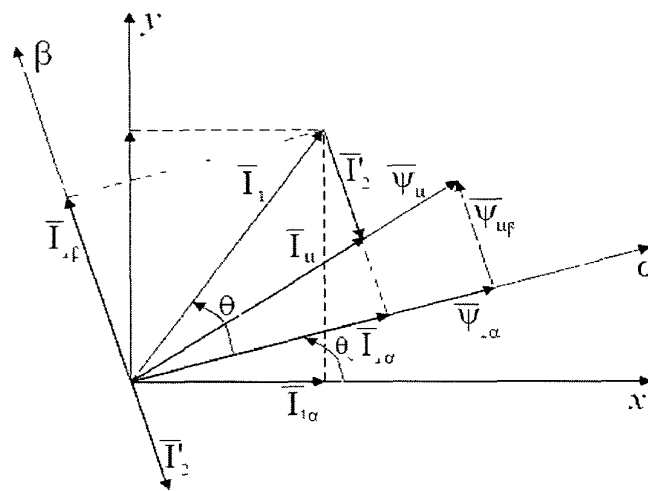


Рисунок 2.4. - Векторна діаграма АД з короткозамкненим ротором при орієнтації системи координат по потокозчепленню ротора

Система управління з опорним вектором потокозчеплення ротора  $|\psi_2|$  має певну особливість, яка дозволяє отримувати високі показники якості управління.

Подання просторових векторів в комплексній формі дозволяє записати статичні і динамічні рівняння елементів ВП ГЕУ в проекціях векторів на осі  $\alpha$  і  $\beta$ . В результаті орієнтації системи координат по вектору потокозчеплення ротора отримаємо математичний опис елементів ВП ГЕУ.

Рівняння статорного ланцюга:

$$\begin{cases} u_{1\alpha} = R_1 i_{1\alpha} - \omega_{0\text{эл}} \psi_{1\beta} + p\psi_{1\alpha} \\ u_{1\beta} = R_1 i_{1\beta} + \omega_{0\text{эл}} \psi_{1\alpha} + p\psi_{1\beta} \end{cases}, \quad (2.9)$$

де  $u_{1\alpha}$ ,  $u_{1\beta}$  - проекції вектора напруги живлення статора ГЕД;  $R_1$  - активний опір обмотки статора;  $i_{1\alpha}$ ,  $i_{1\beta}$ ,  $\psi_{1\alpha}$ ,  $\psi_{1\beta}$  - проекції вектора струму і вектора потокозчеплення обмотки статора відповідно;  $\omega_{0ел}$  - частота напруги статора;  $p = d/dt$  - оператор диференціювання.

Рівняння роторного ланцюга:

$$\begin{cases} \psi_{2\alpha} = \frac{1}{T_2 p} (L_m i_{1\alpha} - \psi_{2\alpha}) \\ \omega_p = k_2 R_2 i_{1\beta} / \psi_{2\alpha} \end{cases}, \quad (2.10)$$

де  $\psi_{2\alpha}$  - проекція потокозчеплення ротора на вісь  $\alpha$ ;  $T_2 = L_2 / R_2$  - постійна часу обмотки ротора;  $L_m$  - індуктивність намагнічуючого контуру;  $\omega_p$  - частота роторної ЕРС;  $k_2 = L_m / L_2$  - коефіцієнт електромагнітного зв'язку ротора;  $R_2$  - активний опір обмотки ротора.

При орієнтації вектора потокозчеплення ротора по осі  $\alpha$  електромагнітний момент двигуна визначається наступним чином:

$$M_d = \frac{3}{2} p_n k_2 \psi_{2\alpha} i_{1\beta}, \quad (2.11)$$

де  $p_n$  - число пар полюсів статора ГЕД.

Рівняння руху ротора ГЕД можна представити таким чином:

$$\frac{(M_d - M_c)}{J} = p\omega, \quad (2.12)$$

де  $M_c$  - момент опору, який створюється гребним гвинтом і прикладений до валу ГЕД;  $J$  - момент інерції ротора і зв'язаного з ним механізму;  $\omega$  - швидкість обертання валу ГЕД.

Частота обертання гребного гвинта фіксованого кроку  $n_{ГВ}$  пов'язана зі швидкістю обертання валу ГЕД  $\omega$  через коефіцієнт передачі редуктора  $k_p$ :

$$n_{ГВ} = \omega \cdot k_p. \quad (2.13)$$

Як відомо, навантаженням ГЕД є гребний гвинт. Опір гребного гвинта залежить від багатьох умов (конструктивних і експлуатаційних). Момент опору гребного гвинта  $M_c$  може бути представлений через частоту обертання:

$$M_c = K_M \rho D^3 (v_c^2 + n_{ГВ}^2 D^2) = f_{Mc}(n), \quad (2.14)$$

де  $K_M$  - універсальний коефіцієнт моменту;  $\rho$  - щільність морської води;  $D$  - діаметр гребного гвинта;  $v_c$  - швидкість руху судна.

Система автоматичного регулювання швидкості ВП ГЕУ при векторному керуванні ГЕД використовує модель потоку для визначення потокозчеплення ротора. Система включає два канали керування швидкості обертання і потоку ротора. Причому канал керування швидкості містить регулятор швидкості (РШ), регулятор моменту (РМ) і регулятор струму (РС), а канал управління потоку містяться регулятор потоку (РПт) і РС.

Математичний опис РШ може бути представлено у вигляді пропорційного регулятора:

$$W_{pc}(p) = \beta_{pc} = k_{pc} = \frac{k_{dm} J}{2T_{\mu\omega} k_{dc}}, \quad (2.15)$$

де  $k_{dm}$  - коефіцієнт передачі датчика моменту;  $T_{\mu\omega}$  - мала постійна часу контуру регулювання швидкості;  $k_{dc}$  - коефіцієнт передачі датчика швидкості.

В якості РМ може бути вибрана інтегруюча ланка з передаточною функцією:

$$W_{pm}(p) = \frac{k_{pm}}{p} = \frac{k_{dt}}{3T_{\mu m} p_{\pi} k_2 \psi_{2\alpha} k_{dm} p}, \quad (2.16)$$

де  $T_{\mu m}$  - мала постійна часу контуру регулювання моменту;  $k_{dt}$  - коефіцієнт передачі датчика струму.

В якості типу РС можна вибрати пропорційно інтегральний регулятор, передаточна функція якого представляється у вигляді:

$$W_{pt}(p) = k_{pt} + \frac{1}{\tau_{pt} p}, \quad (2.17)$$

де  $k_{pt} = \frac{\sigma T_1 R_1}{2\tau k_n k_{dm}}$  = динамічний коефіцієнт РС;  $\tau_{pt} = \sigma T_1$  - постійна часу РС.

В якості РПт вибирається пропорційно-інтегральний регулятор, який виражається таким чином:

$$W_{pnt}(p) = k_{pnt} + \frac{1}{\tau_{pnt} p}, \quad (2.18)$$

де  $k_{\text{рпт}} = \frac{T_2 k_{\text{дт}}}{2T_{\mu\psi} L_m k_{\text{днт}}}$  - динамічний коефіцієнт РПт;  $\tau_{\text{рпт}} = T_2$  - постійна

часу РПт.

Згідно математичному опису елементів ВП ГЕУ, що використовує АД з короткозамкненим ротором, його функціональна схема може бути представлена на рис. 2.5.

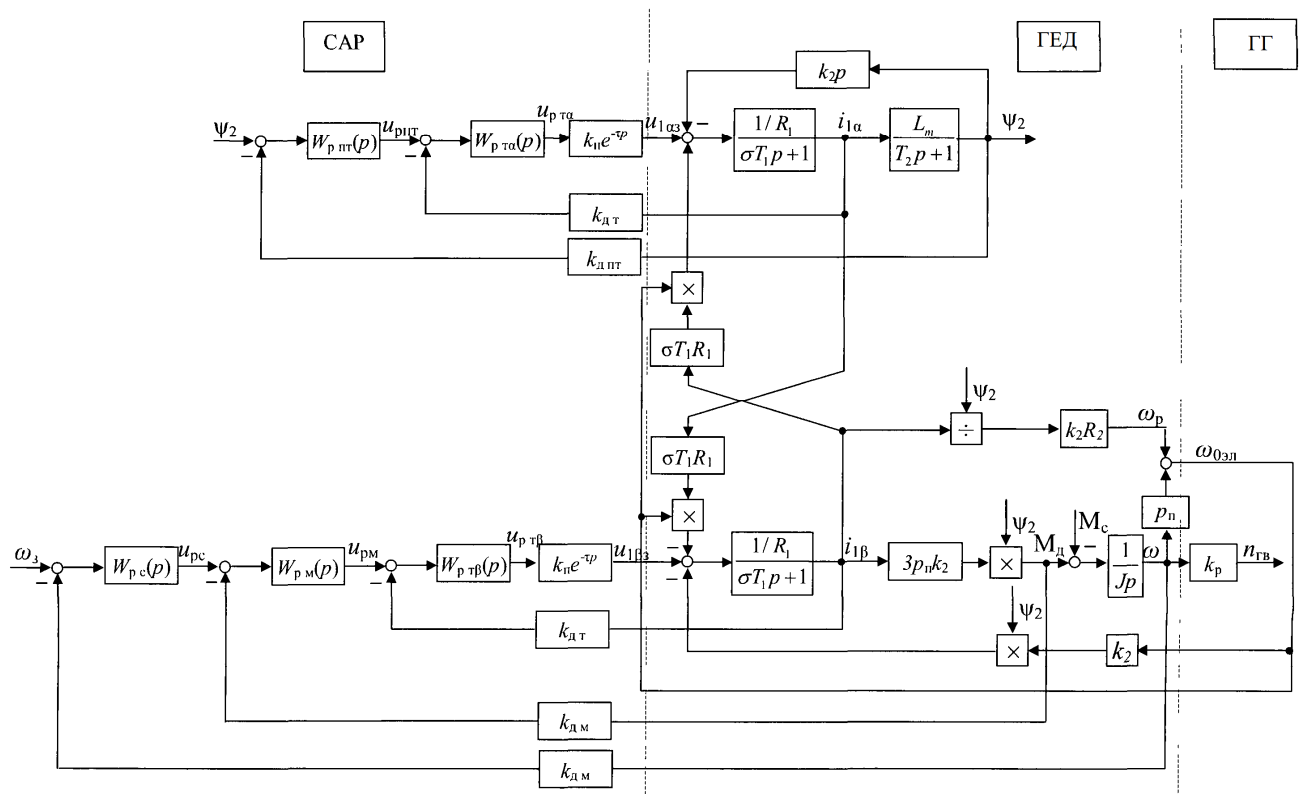


Рисунок 2.5. - Функціональна схема ВП ГЕУ змінного струму, що використовує АД з короткозамкненим ротором

При такому математичному описі зовнішніми керуючими впливами є компоненти просторового вектора напруги на статорі. Функціональна схема дозволяє незалежно встановлювати потокозчеплення ротора  $\psi_2$  зміною значення складової  $u_{1\alpha}$  напруги. При цьому значенні  $\psi_2$  складова  $u_{1\beta}$  напруги буде задавати значення електромагнітного моменту і швидкості двигуна.

Оскільки отримана схема містить нелінійні блоки (блок поділу і блок множення) побудова ДМ у вигляді ДПС вимагає переводити її в лінеаризовану схему. Лінеаризація цих блоків дозволяє спростити перехресні зв'язки і прибрати

нелінійні залежності в схемі. В результаті, виходить функціональна схема ВП ГЕУ змінного струму при векторному керуванні (рис. 2.6).

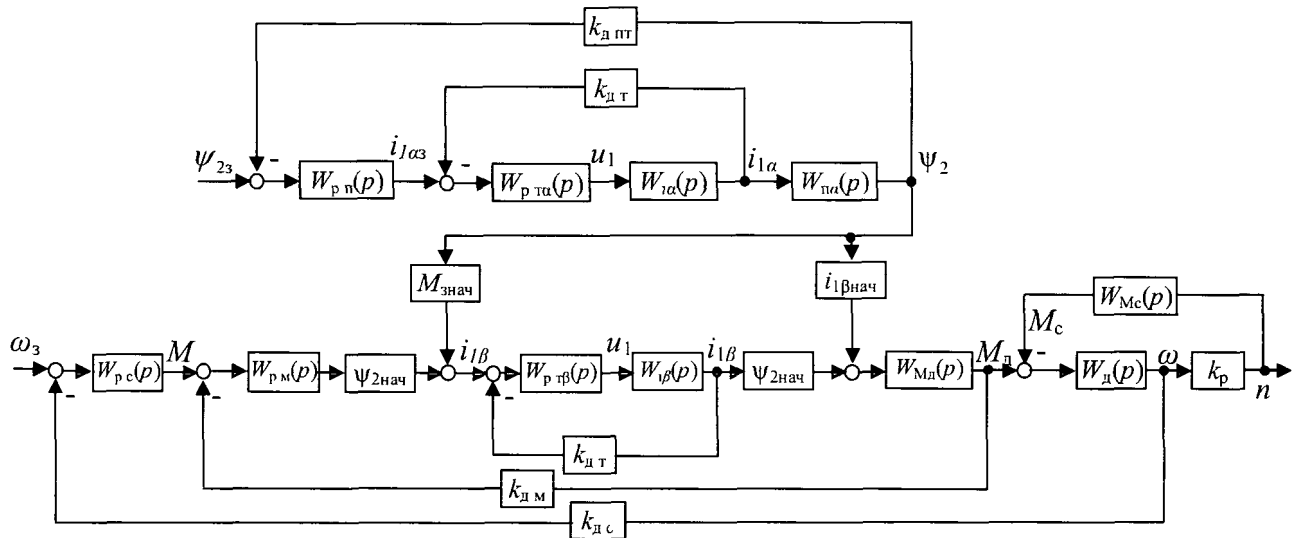


Рисунок 2.6. - Лінеаризована схема ВП ГЕУ змінного струму з АД з короткозамкненим ротором

В лінеаризованій схемі додані ще три блоки, передаточні функції яких представляють коефіцієнти передачі, які означають початкові значення потокозчеплення ротора ГЕД  $\psi_{2\text{нач}}$ , заданого електромагнітного моменту  $M_{\text{знач}}$  і складову струму статора на квадратній осі  $\beta$ . Ці постійні величини можуть бути прийняті рівними значенням в робочій точці.

Математичний опис СД з обмоткою збудження на синхронній системі координат  $\alpha\beta$  відрізняє від АД з короткозамкненим ротором описом ротора. Ротор СД містить обмотку збудження і обертається із синхронною швидкістю. Розглянемо режим роботи СД з довільним потоком і ортогональністю векторів струму і потокозчеплення статора, векторна діаграма якого показана на рис. 2.7.

Математичний опис обмотки збудження СД:

$$u_f = R_f i_f + L_m \frac{di_\alpha}{dt} + L_r \frac{di_f}{dt}, \quad (2.19)$$

де  $u_f$  - напруга живлення обмотки збудження;  $R_f$  - активний опір обмотки збудження;  $i_f$  - струм обмотки збудження;  $L_m$  - взаємна індуктивність обмотки і роторної обмоток.



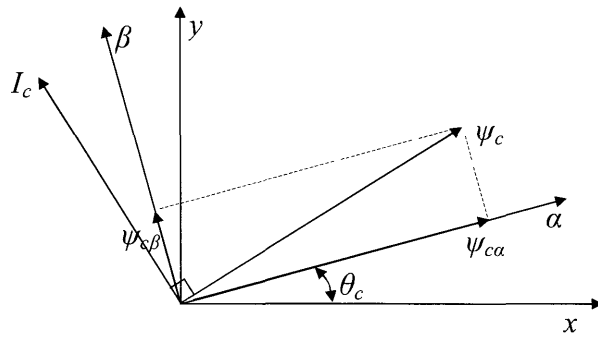


Рисунок 2.7. - Векторна діаграма СД з обмоткою збудження при ортогональності векторів струму і потоку

Взаємні магнітні зв'язки між обмотками статора і збудження по осях  $\alpha$  і  $\beta$  представляються виразами:

$$\begin{cases} \psi_{1\alpha} = L_s i_{1\alpha} + L_m i_f \\ \psi_{1\beta} = L_s i_{1\beta} \end{cases}, \quad (2.20)$$

де  $L_s$  - індуктивність обмотки статора.

Електромагнітний момент СД з обмоткою збудження можна представити таким чином:

$$M_D = L_m i_f i_\beta. \quad (2.21)$$

Крім рівнянь (2.10) і (2.11) математичний опис ВП ГЕУ, що використовує СД з обмоткою збудження включає всі інші рівняння ВП ГЕУ з АД з короткозамкненим ротором. Побудова функціональної схеми ВП ГЕУ з СД проведемо (рис. 2.8), вважаючи, що частота обертання гребного гвинта є вихідним сигналом, а задане значення частоти обертання є вхідним сигналом.

Контур регулювання струмів  $i_\beta$  і  $i_f$  створюють необхідний електромагнітний момент двигуна. Заданим сигналом для контуру регулювання струму  $i_\beta$  є вхідний сигнал регулятора швидкості РШ. Контур регулювання струму  $i_f$  стабілізує струм збудження на постійному рівні  $i_f'$ . Контур регулювання струму  $i_\alpha$  забезпечує режим роботи СД з нульовою реактивною потужністю. Завдання для цього контуру формується нелінійним задатчиком (НЗ), який виражає залежність поздовжньої складової струму від поперечної складової і струму збудження. Кожен контур регулювання має свій регулятор струму РС, що забезпечує виконання завдання з необхідною якістю.



### 2.2.3. Діагностичні моделі ВП ГЕУ змінного струму у вигляді діаграми проходження сигналів

При розробці діагностичного забезпечення ВП ГЕУ необхідно вибрати сукупність оцінюваних діагностичних ознак (необхідних контрольних точок), аналіз яких дозволяє отримати необхідну достовірність діагностування. Вибір контрольних точок здійснюється на підставі аналізу таблиці чутливості функції передачі, яка дозволяє оцінювати абсолютною (відносною) чутливістю функції передачі об'єкта до передаточної функції оператора і визначити ступінь впливу окремих операторів на роботу ВП.

Системи регулювання швидкості обертання ВП ГЕУ змінного струму побудовані за принципом підлеглого управління при векторному керуванні. У схему ВП ГЕУ змінного струму з АД з короткозамкненим ротором, входять два канали управління: канал управління потокозчеплення ротора і канал управління швидкості обертання ГЕД.

На основі цих каналів функціональна схема управління може бути розбита на два ланцюги:

- перший ланцюг містить контур управління потокозчепленням ротора і підлеглий контур регулювання складової струму статора по прямій осі, сигнал управління струмом задається вихідним сигналом регулятора потоку;
- другий ланцюг включає в себе контур управління швидкості, моменту і підлеглий контур регулювання складової струму статора по квадратурній осі; сигнал управління струмом задається вихідним сигналом регулятора швидкості з урахуванням контуру регулювання моменту.

Із функціональної схеми (рис. 2.8) видно, що сталі значення потокозчеплення ротора однозначно визначається складовою струму статора по прямій осі  $i_{1\alpha}$ . У перехідному процесі уповільнення потягозчеплення по відношенню до струму  $i_{1\alpha}$  характеризується постійною часу ротора. Електромагнітний момент ГЕД при постійному потокозчепленні ротора визначається тільки значенням складової струму статора по квадратурній осі  $i_{1\beta}$  і

без уповільнення слідує за її змінами, тобто момент змінюється так швидко, як швидко змінюється  $i_{1\beta}$ . Це сприяє забезпеченню високої швидкодії регулювання ВП ГЕУ з АД короткозамкнутого типу.

В структурну схему ВП ГЕУ змінного струму з СД з обмоткою збудження, входять чотири контури регулювання: контур регулювання поздовжньої складової струму статора, контур регулювання поперечної складової струму статора, контур регулювання струму збудження і контур регулювання частоти обертання. Всі три контури регулювання струмів незалежні один від одного по керуючим сигналам, тому на схемі не показані перехресні зв'язки і компенсуючі зв'язки. З отриманої схеми видно, що при режимі роботи СД з довільним потоком поперечна складова струму статора і струм збудження визначають електромагнітний момент, а поздовжня складова впливає на реактивну потужність двигуна.

Для побудови діагностичних моделей ВП ГЕУ змінного струму у вигляді діаграми проходження сигналів на основі функціональної схеми ВП ГЕУ необхідно прийняти наступне правило:

- вершини ДПС відповідають змінним (сигналам схеми управління ВП ГЕУ) і позначаються індексами відповідних сигналів  $u_{ij}$ ;
- гілки ДПС зображують дію передаточних функцій (операторів) і позначаються індексами відповідного ланцюга  $T_{ij}$  і  $R_{ij}$ .

За допомогою досить простих правил діаграму проходження сигналів можна перетворити, змінюючи її конфігурацію або зменшуючи число гілок замкнених контурів. Діаграма проходження сигналів ВП ГЕУ змінного струму з АД з короткозамкненим ротором, представлена на рис. 2.10.

Вершини ДПС є діагностичні параметри ВП ГЕУ, які можуть ділитися на прямі і непрямі. Прямими діагностичними параметрами називаються такі фізичні величини, які можуть прямо вимірюватися вимірювальними приладами. На діаграмі (рис. 2.10) прямі діагностичні параметри позначені:  $u_{u1\alpha}$ ,  $u_{u1\beta}$  - складові напруги на виході перетворювача, прикладеного на обмотку статора;  $u_{i\alpha}$ ,  $u_{i\beta}$  - складові струму обмотки статора;  $u_{\omega}$  - частота обертання валу ГЕД;  $u_{i\alpha z}$ ,  $u_{i\beta z}$  - задані значення складових струмів, що представляють напруги на виході

регуляторів потоку і моменту;  $u_{мз}$  - задане значення моменту, що представляє напругу на виході регулятора швидкості;  $u_{\omegaз}$ ,  $u_{\psi2з}$  - задані значення частоти обертання і потокозчеплення ротора.

Непрямі діагностичні параметри представляють собою такі фізичні величини, які на практиці (і в даному принципі управління) не можуть безпосередньо вимірюватися вимірювальними приладами, а можуть оцінюватися або розраховуватися через прямі діагностичні параметри. В якості непрямих діагностичних параметрів вибираються  $u_{\psi2}$  - потокозчеплення ротора і  $u_{мд}$  - електромагнітний момент двигуна. Оскільки момент опору на практиці не вимірюється, то можна виключити його з розгляду.

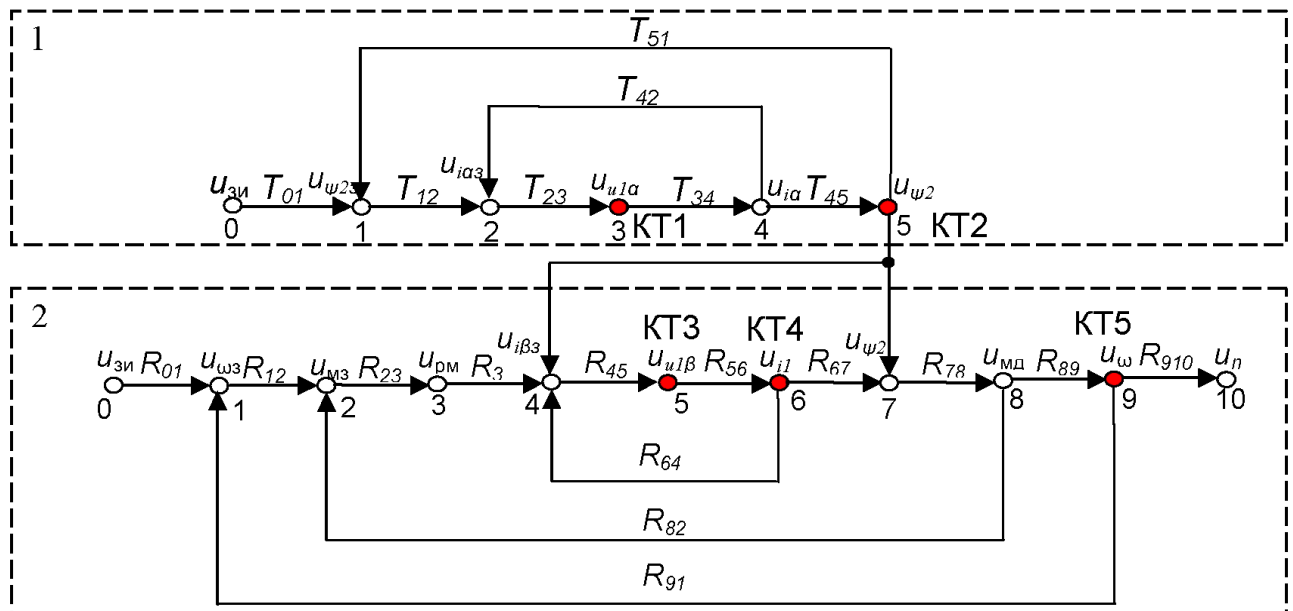


Рисунок 2.10. - Діагностична модель ВП ГЕУ змінного струму з АД з короткозамкненим ротором

Діаграма проходження сигналів ВП ГЕУ змінного струму з СД з обмоткою збудження, представлена на рис. 2.11. На даній ДПС прямі діагностичні параметри представляють складові напруги на виході перетворювача частоти -  $u_{\alpha}$ ,  $u_{\beta}$ ; складові струму обмотки статора -  $i_{1\alpha}$ ,  $i_{1\beta}$ ; задані значення складових струмів, що представляють напруги на виході регулятора швидкості -  $u_{1\alphaз}$ ,  $u_{1\betaз}$ ; частота обертання валу ГЕД -  $u_{\omega}$ ; заданий струм обмотки збудження -  $i_{fз}$ ; напруга, прикладена на обмотку збудження -  $u_f$ ; струм обмотки збудження -  $i_{fл}$ . В якості

непрямих діагностичних параметрів вибирається електромагнітний момент ГЕД. Момент опору може бути виключений з розгляду даної ДПС, тому що на практиці ця величина не вимірюється.

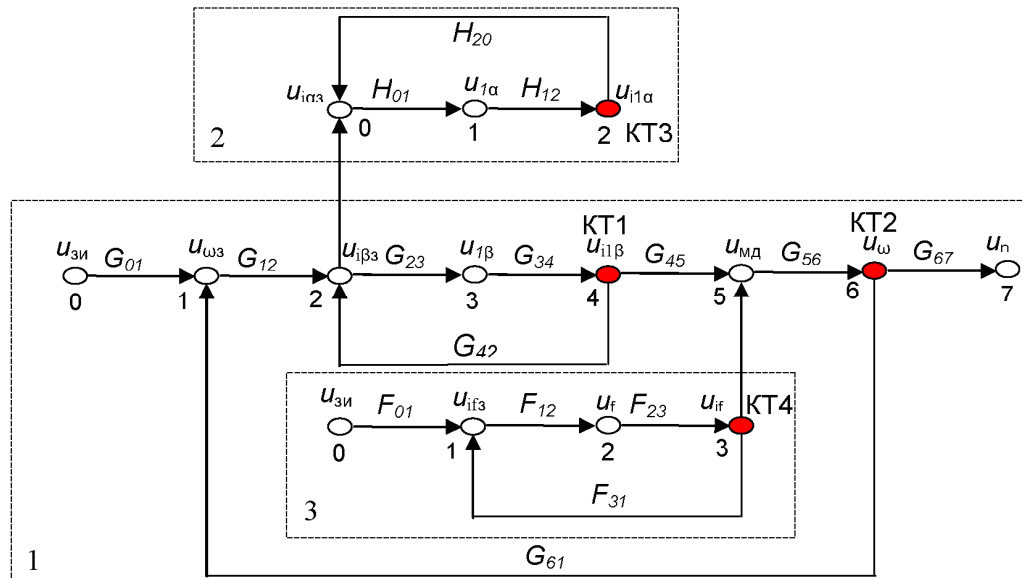


Рисунок 2.11. - Діагностична модель ВП ГЕУ змінного струму з СД з обмоткою збудження

Діаграми проходження сигналів дають можливість застосувати теорію чутливості функції передачі для побудови таблиць чутливості ВП ГЕУ, що дозволяє проаналізувати чутливість стан об'єкта до зміни операторів. В результаті аналізу таблиць і обчислення чутливості за критерієм частотних характеристик можна визначити контрольні точки і порядок перевірки працездатності елементів ВП ГЕУ.

### 2.3. Аналіз чутливості діагностичних моделей ВП ГЕУ змінного струму

Чутливість функції передачі визначається як похідна від функції передачі  $W$  по оператору  $T$ :

- абсолютна чутливість:

$$U_T^W = \frac{\partial W_{0i}}{\partial T_{kl}}, \quad (2.22)$$

де  $W_{0i}$  - функція передачі від входу до виходу  $i$ ;  $T_{kl}$  - передаточна функція оператора, що прямує від вершини  $k$  до до вершини  $l$ ;

- відносна чутливість:

$$S_W^T = \frac{\partial \ln W_{0i}}{\partial \ln T_{kl}} = \frac{\partial W_{0i}}{\partial T_{kl}} \cdot \frac{T_{kl}}{W_{0i}} = U_{T_{kl}}^{W_{0i}} \cdot \frac{T_{kl}}{W_{0i}}. \quad (2.23)$$

Таблиця чутливості функцій передачі включає  $n$  рядків і  $m$  стовпців. Складання таблиці здійснюється таким чином: в кожному рядку таблиці записуються чутливості однієї функції передачі  $W_{ij}$  до всіх  $m$  операторів гілок  $T_k$ , а в кожному стовпці записуються чутливості всіх  $n$  функцій передачі до зміни одного до  $k$ -го оператора  $T_k$ ,  $k = \overline{1, m}$  (таблиця 2.1 ). Отже, розмір цієї таблиці дорівнює  $m \times n$ .

Для оцінки ступеня впливу операторів на роботу ОД найчастіше застосовується відносна чутливість.

Таблиця 2.1. – Вид таблиці чутливості

Функции передачи $W_{ij}$	Операторы ветвей $T_k$				
	$T_1$	...	$T_k$	...	$T_m$
$W_{01}$	$V_{T_1}^{W_{01}}$	...	$V_{T_k}^{W_{01}}$	...	$V_{T_m}^{W_{01}}$
...	...	...	...	...	...
$W_{ij}$	$V_{T_1}^{W_{ij}}$	...	$V_{T_k}^{W_{ij}}$	...	$V_{T_m}^{W_{ij}}$
...	...	...	...	...	...
$W_{nm}$	$V_{T_1}^{W_{nm}}$	...	$V_{T_k}^{W_{nm}}$	...	$V_{T_m}^{W_{nm}}$

Для визначення послідовності перевірки елементів ВП ГЕУ необхідно впорядкувати чутливості частотних характеристик пристрою до зміни частотних характеристик окремих елементів. Таким чином, стан ВП ГЕУ доцільно оцінювати по частотним характеристикам (амплітудним і фазовим), які і розглядаються як діагностичні показники.

Чутливість передаточної функції об'єкта до кожного оператору може бути визначена окремо по амплітуді і фазі, і можна розрахувати за логарифмічною формулою:

$$\left| \frac{\partial \ln A(\omega)}{\partial \ln A_i(\omega)} \right| = \left| \frac{\partial A(\omega)}{\partial A_i(\omega)} \cdot \frac{A_i(\omega)}{A(\omega)} \right|; \quad \left| \frac{\partial \ln \varphi(\omega)}{\partial \ln \varphi_i(\omega)} \right| = \left| \frac{\partial \varphi(\omega)}{\partial \varphi_i(\omega)} \cdot \frac{\varphi_i(\omega)}{\varphi(\omega)} \right|; \quad (2.24)$$

де  $A(\omega)$ ,  $\varphi(\omega)$  і  $A_i(\omega)$ ,  $\varphi_i(\omega)$  – амплітудні і фазові частотні характеристики ВП ГЕУ  $i$ -го оператора відповідно.

Оскільки на працездатність ВП ГЕУ впливає багато параметрів, щоб правильно вибрати необхідні контрольні точки необхідно визначити чутливість функцій передачі від початку до контрольної вершини щодо всіх операторів, ранжувати їх і знайти найбільш чутливі функції передачі.

Перший ланцюг ДПС ВП ГЕУ з АД з короткозамкненим ротором (рис. 2.12) включає два контури управління з зворотними зв'язками I і II. Вхідний сигнал першого ланцюга є заданим потокозчеплення ротора, а вихідний сигнал являє собою поточне значення потокозчеплення ротора. Вершини ланцюга позначаються цифрами 0..5, а гілки ланцюга позначаються літерою Т з індексами.

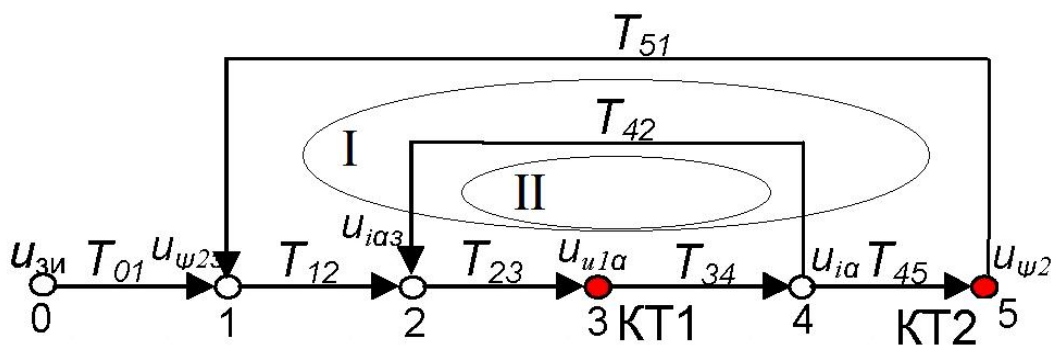


Рисунок 2.12. - Перший ланцюг ДПС ВП ГЕУ з АД з короткозамкненим ротором

Другий ланцюг ДПС ВП ГЕУ з АД з короткозамкненим ротором (рис. 2.13) включає три контури управління з зворотними зв'язками. Вхідний сигнал другого ланцюга є заданим значенням швидкості обертання ГЕД. Вершини другого ланцюга позначаються цифрами 0 10, а гілки ланцюга позначаються літерою R з індексами.



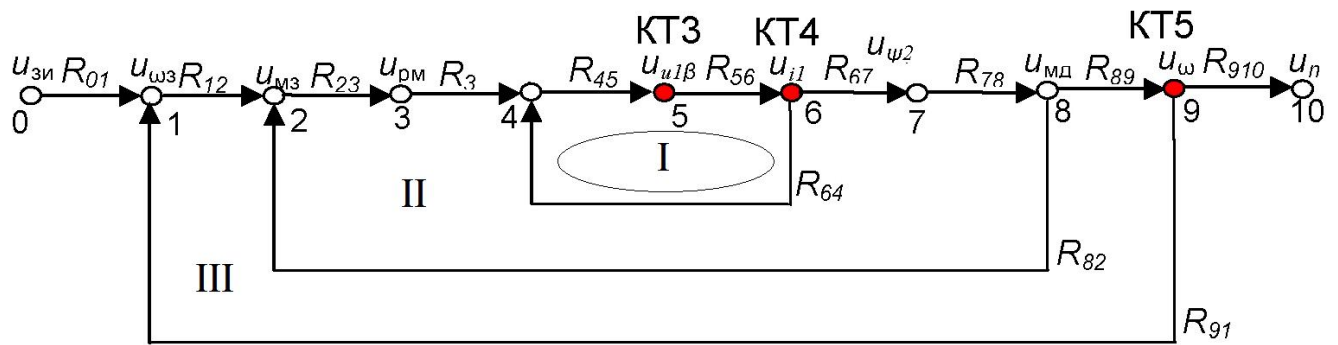


Рисунок 2.13. - Другий ланцюг ДПС ВП ГЕУ з АД з короткозамкненим ротором

На основі упорядкування функцій передачі можна визначити контрольні точки, які сформують сукупність діагностичних показників ВП ГЕУ з асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором:

$$S_{\text{ВП ГЕУ-АД}} = (u_{1\alpha}, \psi_2, u_{1\beta}, i_{1\beta}, \omega);$$

де  $u_{1\alpha}$  - поздовжня складова напруги на виході ПЧ (КТ1),  $\psi_2$  - потокозчеплення ротора (КТ2),  $u_{1\beta}$  - поперечна складова напруги на виході ПЧ (КТ3),  $i_{1\beta}$  - поперечна складова струму обмотки статора (КТ4) і  $\omega$  - частота обертання валу АД (КТ5).

Вибір контрольних точок першої ланцюга ВП ГЕУ з синхронним двигуном. Перший ланцюг ДПС ВП ГЕУ з СД з обмоткою збудження (рис. 2.14) включає два контури управління зі зворотними зв'язками I і II.

Вхідний сигнал першого ланцюга є заданою частотою обертання валу синхронного двигуна, а вихідний сигнал являє собою поточне значення обертання ГГ. Вершини ланцюга позначаються цифрами 0...7, а гілки ланцюга позначаються літерою G з індексами.

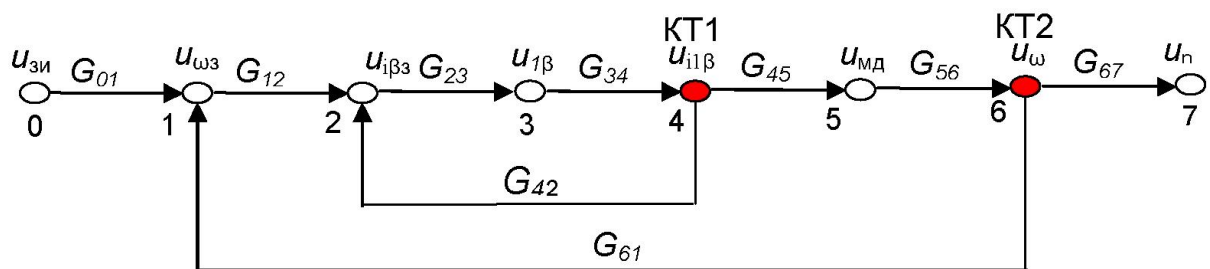


Рисунок 2.14. - Перший ланцюг ДПС ВП ГЕУ з СД з обмоткою збудження

У першому ланцюгу ВП ГЕУ з СД немає недотичних контурів. Вихідні сигнали визначають дві контрольні точки КТ1 і КТ2, які зображені на рис. 2.14.

Другий ланцюг ДПС ВП ГЕУ з СД з обмоткою збудження (рис. 2.15) включає один контур зі зворотним зв'язком. Вхідний сигнал другого ланцюга є регульованим струмом, який виходить з РТ. Вершини другого ланцюга позначаються цифрами 0 ... 2, а гілки ланцюга позначаються літерою Нс індексами.

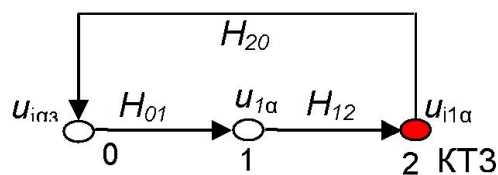


Рисунок 2.15. - Другий ланцюг ДПС ВП ГЕУ з СД з обмоткою збудження

Третій ланцюг ДПС ВП ГЕУ з СД з обмоткою збудження (рис. 2.16) включає один контур управління зі зворотним зв'язком. Вхідний сигнал другого ланцюга є заданим значенням струму збудження, який задається задаючим пристроєм. Вершини третього ланцюга позначаються цифрами 0...3, а гілки ланцюга позначаються літерою  $F$  з індексами.

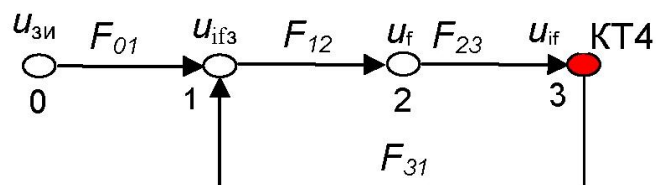


Рисунок 2.16. - Третій ланцюг ДПС ВП ГЕУ з СД з обмоткою збудження

Результат аналізу чутливості ВП ГЕУ з СД дозволяє визначити сукупність діагностичних показників ВП ГЕУ з СД з обмоткою збудження  $S_{\text{ВП ГЕУ-СД}}$ , які відповідають контрольним точкам КТ1 ... КТ4, в такий спосіб:

$$S_{\text{ВП ГЕУ-СД}} = (i_{\beta}, \omega, i_{\alpha}, i_f);$$

де  $i_{\beta}$  - поперечна складова струму обмотки (КТ1),  $\omega$  - частота обертання валу СД (КТ2),  $i_{\alpha}$  - поздовжня складова струму обмотки (КТ3),  $i_f$  - струм обмотки збудження (КТ4).

Результат аналізу чутливості ВП ГЕУ дозволяє визначити контрольні точки, в яких необхідно перевірити допуск (запас працездатності). Процедура аналізу ДМ ВП ГЕУ змінного струму та впорядкування може здійснюватися критерієм  $u_l$ , який призначений для визначення послідовності перевірки блоків і обчислений для чутливості частотних характеристик. Значення  $u_l$  для всіх блоків ВП ГЕУ змінного струму можна обчислити за допомогою програми на Delphi. Вихідними даними програми розрахунку є:

- функціональна схема ВП ГЕУ, в якій введені параметри функцій передачі, кількість операторів  $n_o$ , число контурів  $n_k$ ;
- число контрольних точок КТ;
- фіксована частота  $\omega$ .

Алгоритм програми розрахунку значень критерію  $u_l$  для всіх блоків ВП ГЕУ змінного струму показаний на рис. 2.17.

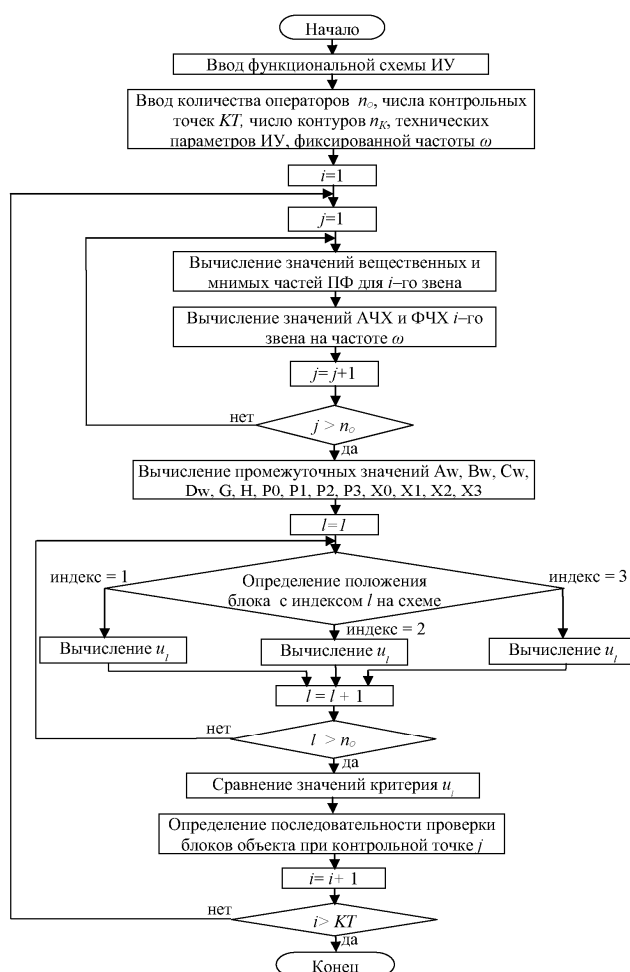


Рисунок 2.17. - Алгоритм розрахунку чутливостей частотних характеристик ФП ВП ГЕУ змінного струму

Параметри функцій передачі розраховані для ВП ГЕУ з асинхронним двигуном типу АЗМ-500/6-2УХЛ4 з потужністю 500 кВт, а для ВП ГЕУ з синхронним двигуном типу СДМ4-1250-24УХЛ4 з потужністю 500 кВт.

Розрахунок чутливості ВП ГЕУ змінного струму з АД і СД, проведено по даному алгоритму, здійснюється на програмі Delphi, результат якого наведено на таблицях 2.2 а, б і 2.3 а, б, в.

Таблиця 2.2 а - Ранжування блоків першого ланцюга ВП ГЕУ з АД при контрольних точках КТ1 і КТ2

Контрольні точки	КТ1		КТ2	
Блоки	Значення критерія $u_l$	Ранжування блоків	Значення критерія $u_l$	Ранжування блоків
1 ( $T_{01}$ )	7.857	3	4.568	3
2 ( $T_{12}$ )	7.627	4	3.458	4
3 ( $T_{23}$ )	9.952	2	6.956	2
4 ( $T_{34}$ )	10.435	1	7.395	1
5 ( $T_{45}$ )	4.446	5		-
6 ( $T_{42}$ )	1.075	6	1.001	5
7 ( $T_{51}$ )	0.027	7		-

Таблиця 2.2 б - Ранжування блоків другого ланцюга ВП ГЕУ з АД при контрольних точках КТ3, КТ4, КТ5

Контрольні точки	КТ3		КТ4		КТ5	
Блоки	Значення критерія $u_l$	Ранжування блоків	Значення критерія $u_l$	Ранжування блоків	Значення критерія $u_l$	Ранжування блоків
1 ( $R_{01}$ )	3.393	7	2.145	5	2.812	4
2 ( $R_{12}$ )	7.098	5	6.934	4	4.857	3
3 ( $R_{23}$ )	10.523	4	7.201	3	5.073	2
4 ( $R_{34}$ )	15.069	1	11.042	1	7.254	1
5 ( $R_{45}$ )	13.250	2	10.635	2		-
6 ( $R_{56}$ )	6.410	6		-		-
7 ( $R_{67}$ )	13.072	3		-		-
8 ( $R_{78}$ )	1.547	8		-		-
9 ( $R_{53}$ )	0.740	9	0.453	6		-
10 ( $R_{62}$ )	0.443	11		-		-
11 ( $R_{71}$ )	0.527	10		-		-

Таблиця 2.3 а - Ранжування блоків першого ланцюга ВП ГЕУ з СД при контрольних точках КТ1 і КТ2

Контрольні точки	КТ1		КТ2	
Блоки	Значення критерія $u_l$	Ранжування блоків	Значення критерія $u_l$	Ранжування блоків
1 ( $G_{01}$ )	6.213	5	3.054	4
2 ( $G_{12}$ )	6.906	4	5.794	3
3 ( $G_{23}$ )	10.837	2	6.883	2
4 ( $G_{34}$ )	12.574	1	8.437	1
5 ( $G_{45}$ )	7.254	3		-
6 ( $G_{56}$ )	3.522	6		-
7 ( $G_{42}$ )	1.043	8	1.745	5
8 ( $G_{51}$ )	1.577	7		-

Таблиця 2.3 б - Ранжування блоків другого ланцюга ВП ГЕУ з СД при контрольній точці КТ3

Контрольні точки	КТ3	
Блоки	Значення критерія $u_l$	Ранжування блоків
1 ( $H_{01}$ )	3.064	3
2 ( $H_{12}$ )	5.377	2
3 ( $H_{23}$ )	5.935	1
4 ( $H_{31}$ )	1.356	4

Таблиця 2.3 в - Ранжування блоків третього ланцюга ВП ГЕУ з СД при контрольній точці КТ4

Контрольні точки	КТ3	
Блоки	Значення критерія $u_l$	Ранжування блоків
1 ( $F_{01}$ )	2.204	3
2 ( $F_{12}$ )	4.857	2
3 ( $F_{23}$ )	5.822	1
4 ( $F_{31}$ )	1.308	4

Результат ранжирування блоків ВП ГЕУ не тільки дозволяє побудувати алгоритм перевірки працездатності ВП ГЕУ, але і дає можливість визначення достовірності діагностування ВП ГЕУ змінного струму.

Контрольна точка - це виходи елементів (блоків), з яких знімаються засобами технічного діагностування відповіді виробу (на робочі або тестові впливи).

В результаті аналізу ВП ГЕУ змінного струму з АД визначає 5 контрольних точок (КТ1 ... КТ5), а для ВП ГЕУ змінного струму з СД визначаються 4 контрольні точки (КТ1 ... КТ4). Для складання алгоритму перевірки ступеня працездатності ВП ГЕУ можна використовувати метод визначення чутливості функцій передачі по частотним характеристикам до зміни всіх операторів. У кожній контрольній точці необхідно визначити послідовність перевірки блоків ВП ГЕУ по їх чутливості.

На основі вибраних контрольних точок і ранжирування ступеня впливу операторів можна побудувати алгоритми пошуку причин, що призводять до зниження працездатності ВП ГЕУ змінного струму. Алгоритм для ВП ГЕУ з АД з короткозамкненим ротором показаний на рис. 2.18.

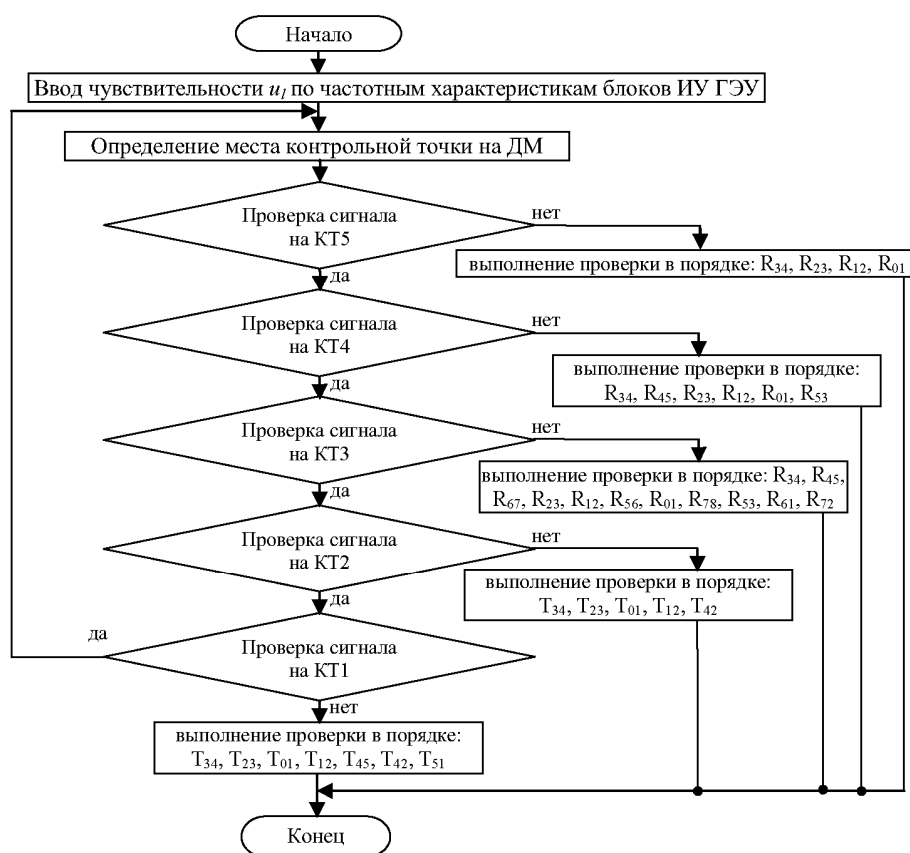


Рисунок 2.18 - Алгоритм пошуку дефектів ВП ГЕУ з АД з короткозамкненим ротором

Алгоритм для ВП ГЕУ з СД з обмоткою збудження показаний на рис. 2.19.

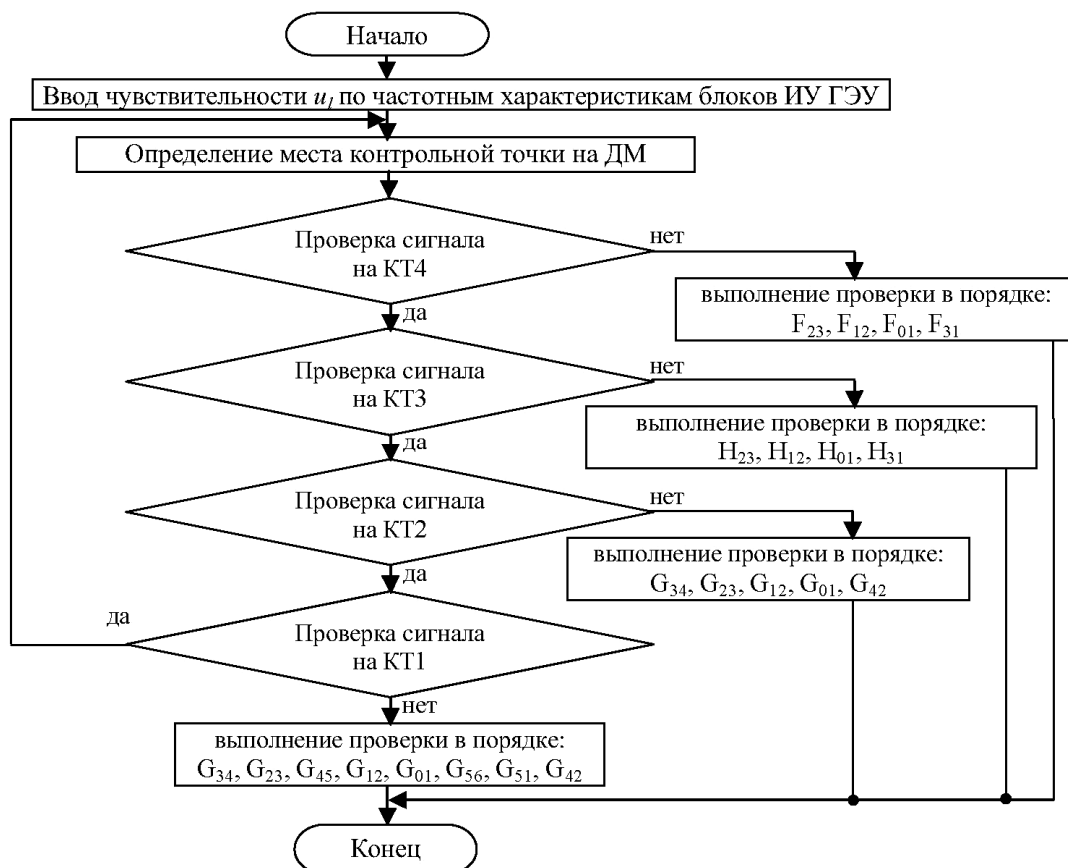


Рисунок 2.19. - Алгоритми пошуку дефектів ВП ГЕУ з СД з обмоткою збудження

## 2.4. Розробка діагностичних моделей ВП ГЕУ змінного струму в ORCAD

Рішення завдання розробки діагностичного забезпечення ВП ГЕУ вимагає побудови діагностичної моделі, яка з точки зору технічної діагностики є формальним описом ВП ГЕУ, що піддається діагностуванню. ДМ можуть бути представлені в аналітичній, табличній, векторній, графічній та ін. формі. Опис ДМ враховує можливість зміни його стану. Моделювання ВП ГЕУ і його дефектів може здійснюватися багатьма системами автоматичного програмування, при цьому на сьогоднішній день особливе місце займає система проектування електронних пристроїв Orcad [8].

На основі структурної схеми ВП ГЕУ змінного струму (рис. 1.7) можна виділити: гребний електродвигун, гребний гвинт і систему автоматичного регулювання.

Система автоматизованого проектування Orcad призначена для проектування електронних схем, володіє великими функціональними можливостями і є складною системою. Середовище Orcad - один з потужних універсальних сучасних засобів наскрізного проектування електронних схем. Для створення діагностичних моделей компонентів ВП ГЕУ змінного струму можна використовувати Orcad Capture CIS. Це графічний редактор електричних схем, який дозволяє створити моделі компонентів, які описані алгебраїчними і диференціальними рівняннями, на основі елементів, що існують в бібліотеці Orcad.

Діагностична модель асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором побудована на основі графічного рішення алгебраїчних і диференціальних рівнянь математичного опису в фазних координатах  $abc$ , і паспортних даних асинхронного двигуна типу АМ 101-2. Розроблена діагностична схема АД з короткозамкненим ротором показана на рис. 2.20, а його компактна форма в бібліотеці Orcad представлена на рис. 2.21.

В працездатному стані двигун має наступні номінальні значення параметрів:

номінальна потужність  $P_n = 100 \text{ кВт}$ ,

номінальна (фазна) напруга  $U_{\text{фн}} = 380 \text{ В}$ ,

номінальний струм  $I_n = 215 \text{ А}$ ,

номінальний коефіцієнт потужності  $\cos \varphi = 0.89$ ,

активний опір обмотки статора  $r_a = 0.036 \text{ в.о.}$ ,

власна індуктивність обмотки статора  $l_a = 1.772 \text{ в.о.}$ ,

взаємна індуктивність між обмотками статора і ротора  $\mu_{ra} = 0.875 \text{ в.о.}$ ,

постійна часу обмотки ротора  $T_r = 0.305 \text{ сек}$ ,

інерційна постійна приводу  $T_j = 0.6 \text{ сек}$ ,

момент опору навантаження був прийнятий вентиляторним (гребним).



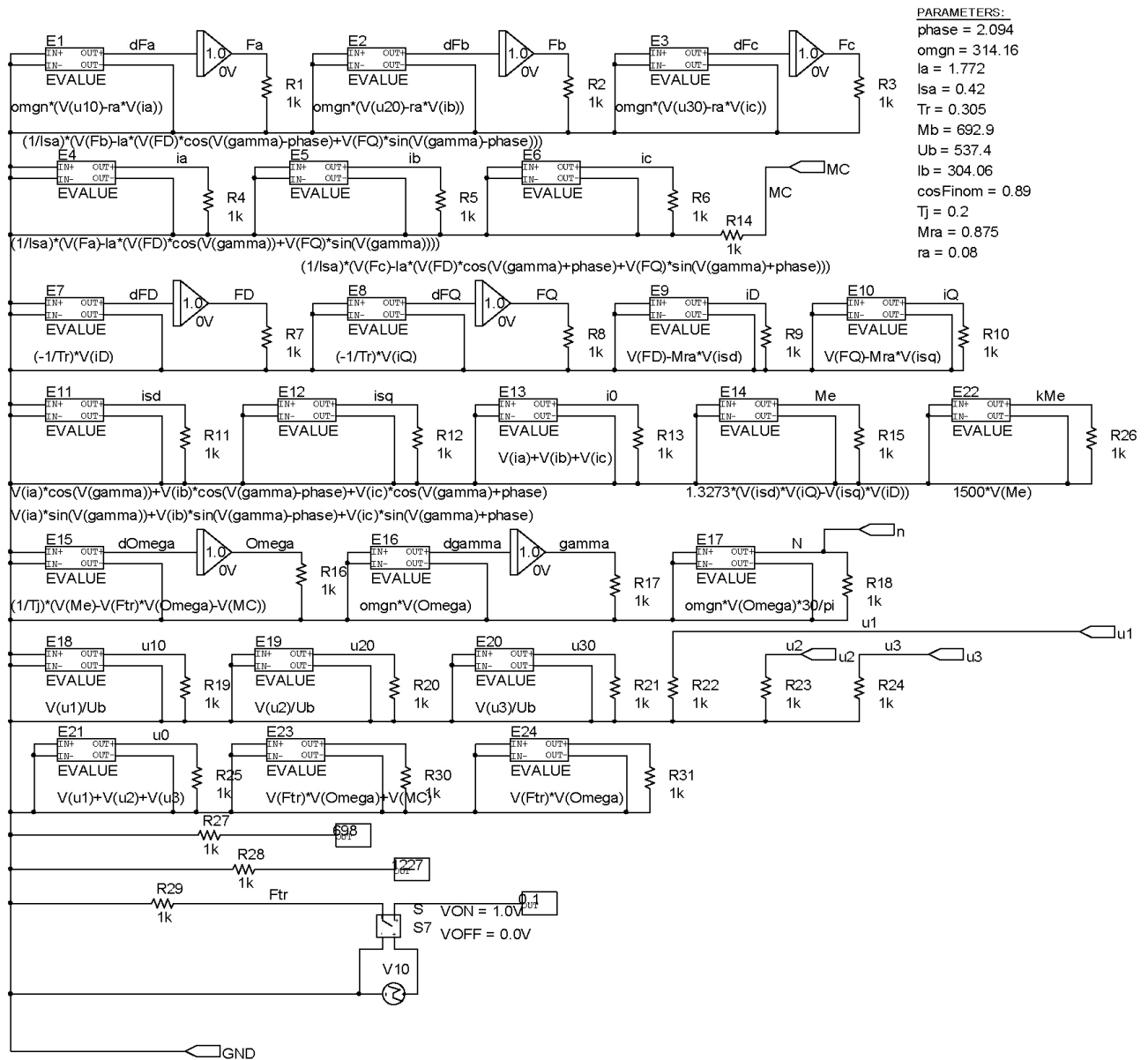


Рисунок 2.21. - Схема АД с короткозамкнутым ротором

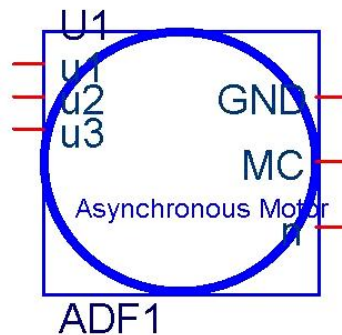


Рисунок 2.22. - Форма АД в бібліотеці Orcad

Діагностична модель синхронного двигуна з обмоткою збудження розроблена на основі графічного рішення алгебраїчних і диференціальних рівнянь математичного опису в ортогональних роторних координатах  $dq$ , і паспортних даних синхронного двигуна типу МСС 115-8. Вхідними сигналами для схеми СД є трифазні напруги живлення, момент опору гребного гвинта, прикладений на валу СД і постійна напруга живлення обмотки збудження, а вихідним сигналом є частота обертання гребного валу.

В працездатному стані двигун має наступні номінальні значення параметрів:

номінальна потужність  $P_n = 200$  кВт,

номінальна (фазна) напруга  $U_{\text{фн}} = 380$  В,

номінальний струм  $I_n = 361$  А,

активний опір обмотки статора:  $r_a = 0.013$  в.о.,

синхронна реактивність обмотки статора по поздовжній осі  $x_d = 1.53$  в.о.,

синхронна реактивність обмотки статора по поперечній осі  $x_q = 0.78$  в.о.,

опір розсіювання обмотки статора  $x' = 0.084$  в.о.,

перехідна реактивність по поздовжній осі  $x'_d = 0.23$  в.о.,

сверхперехідна реактивність по поздовжній осі  $x''_d = 0.23$  в.о.,

сверхперехідна реактивність по поперечній осі  $x''_q = 0.2$  в.о.,

постійна часу обмотки збудження  $T_r = 1.6$  сек,

сверхперехідна постійна часу по поздовжній осі  $T''_d = 0.24$  сек,

сверхперехідна постійна часу по поздовжній осі  $T''_q = 0.026$  сек,

Діагностична схема синхронного двигуна з обмоткою збудження представлена на рис. 2.23, а його компактна форма в бібліотеці Orcad показана на рис. 2.24.

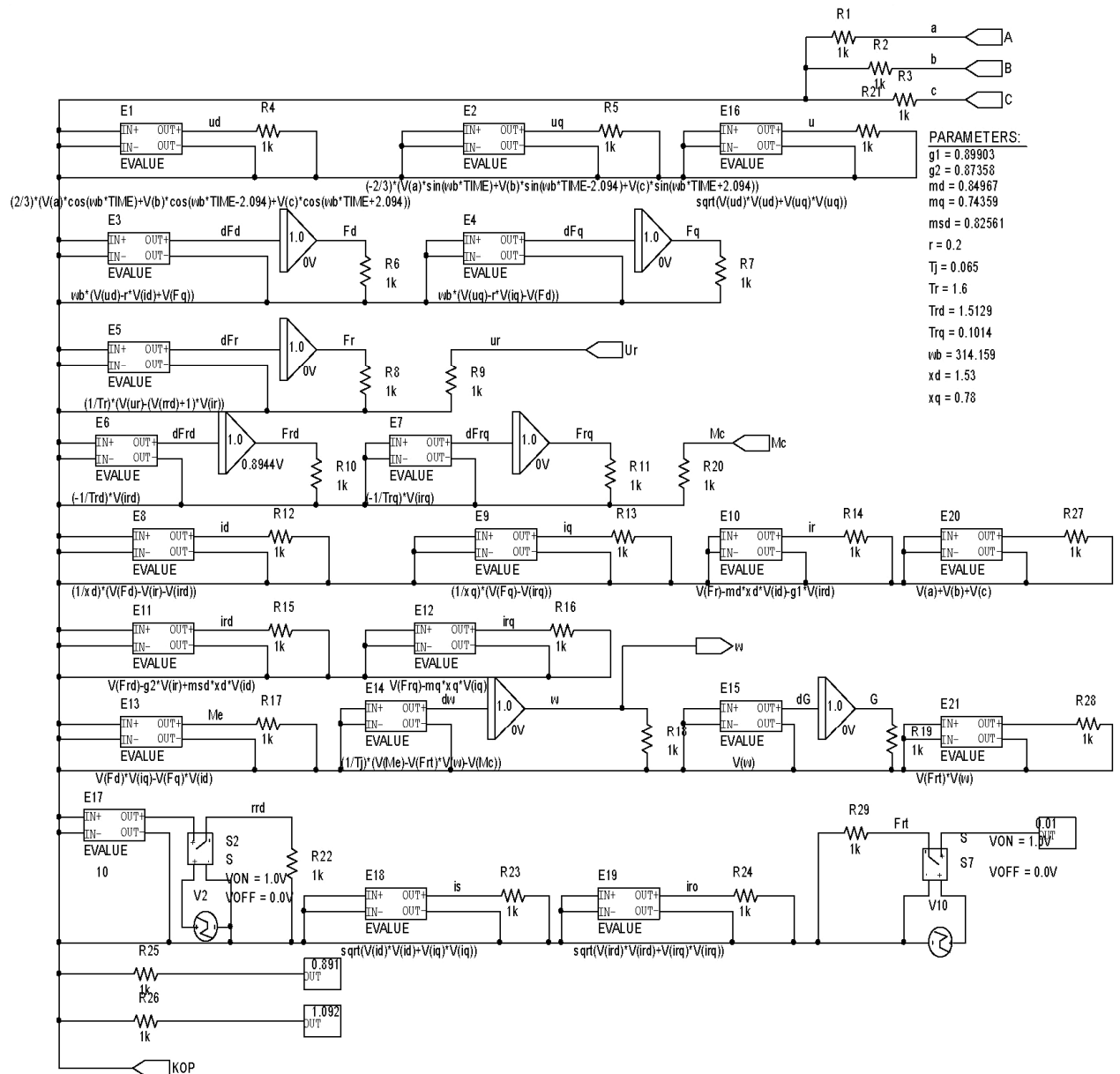


Рисунок 2.23. - Схема СД з обмоткою збудження

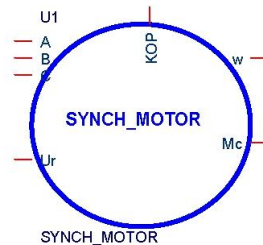


Рисунок 2.24. - Форма СД в бібліотеці Orcad

Діагностична модель гребного гвинта фіксованого кроку побудована на основі графічного рішення алгебраїчних і диференціальних рівнянь математичного опису гребного гвинта. Динаміка ГГ характеризується універсальними коефіцієнтами упору  $K_T$  і моменту  $K_M$ . Ці коефіцієнти зберігають кінцеві значення при будь-якому значенні частоти обертання ГГ.

Діагностична схема гребного гвинта фіксованого кроку представлена на рис. 2.25, а його компактна форма в бібліотеці Orcad показана на рис. 2.26.

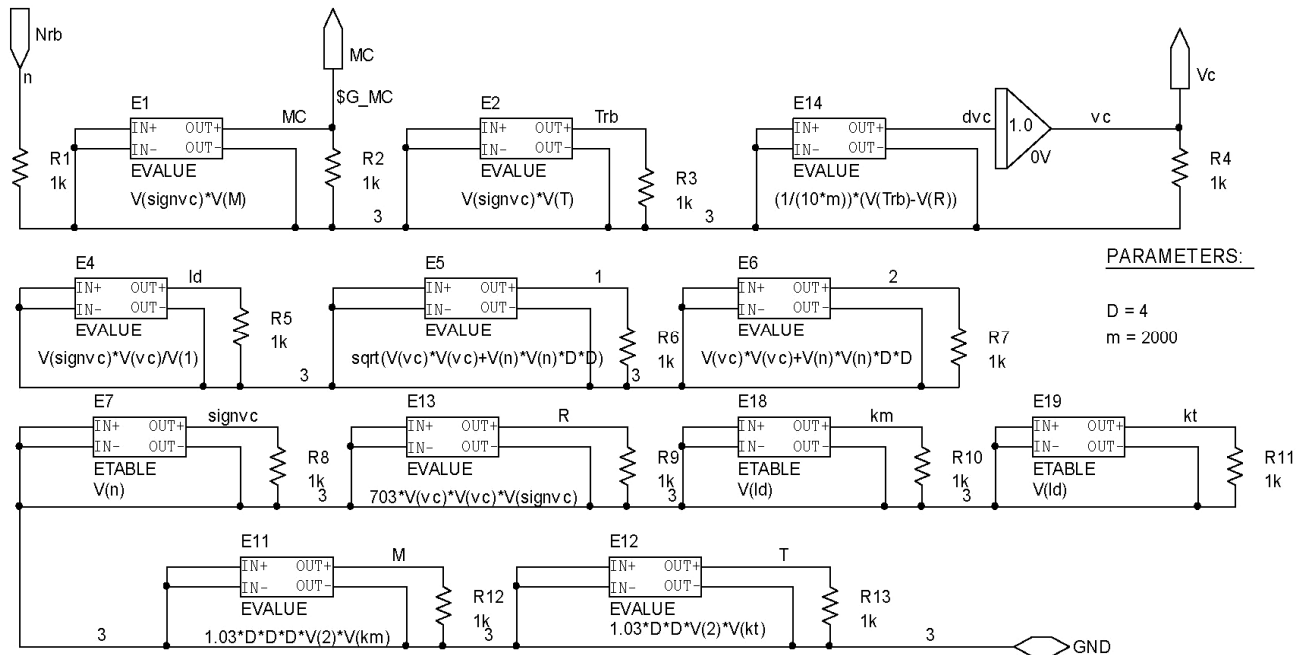


Рисунок 2.25. - Схема ГГ фіксованого кроку

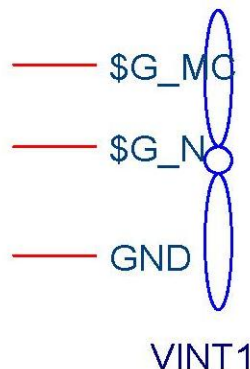


Рисунок 2.26. - Форма ГГ в бібліотеці Orcad

## 2.5. Дослідження впливу дефектів на працездатність ВП ГЕУ

Діагностичні моделі ВП ГЕУ змінного струму - це графічне представлення ВП ГЕУ з асинхронним і синхронним двигунами в САПР Orcad. Ці моделі не тільки дають можливість дослідження ВП ГЕУ в справному стані, а й дозволяє змінити його параметри, провести додаткові з'єднання між елементами і т.д., щоб імітувати дефекти.

Діагностична модель ВП ГЕУ з АД з короткозамкненим ротором показано на рис. 2.27.

Дана діагностична модель дозволяє імітувати такі дефекти: обрив однієї з трьох фаз обмотки статора двигуна, коротке замикання між двома (можливо трьома) фазами обмотки статора, зношування підшипника ковзання, що викликають момент опору (тертя) на валу двигуна, зношування (або втрата) лопатей гребного гвинта, цей дефект часто призводить до зміни моменту опору, прикладеного до гребного вала.

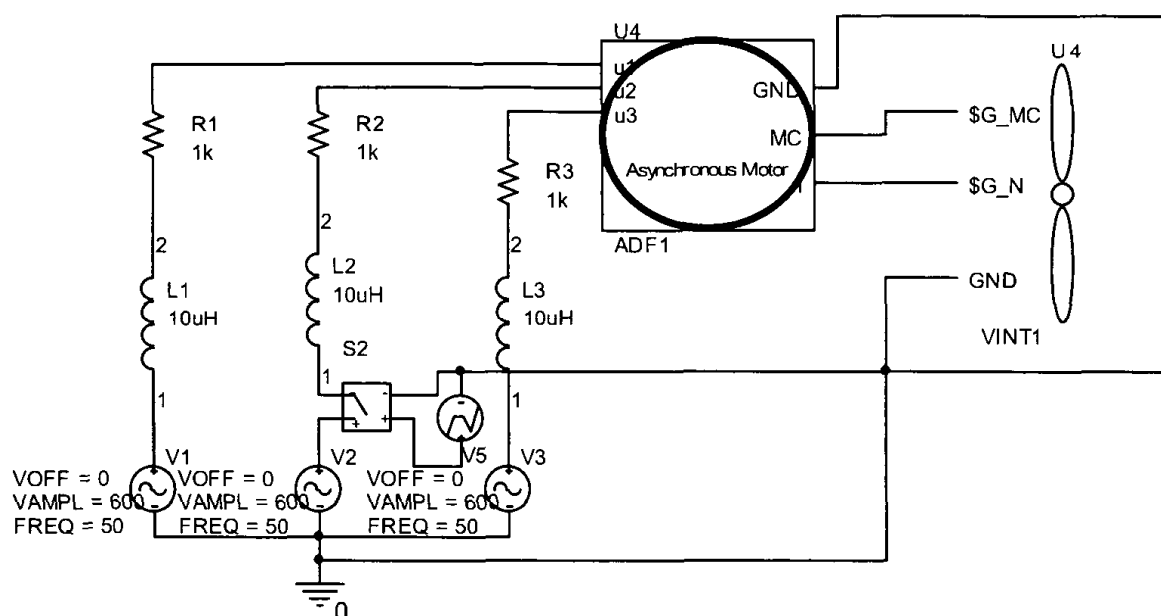


Рисунок 2.27. - Діагностична модель ВП ГЕУ з АД з короткозамкненим ротором

Діагностична модель ВП ГЕУ з СД з обмоткою збудження (рис. 2.28) будується аналогічно діагностичній моделі ВП ГЕУ з асинхронним двигуном з

короткозамкненим ротором. Крім того, до синхронного двигуна необхідно підключити обмотку збудження. Цю обмотку живить джерело постійної напруги VDC.

Дана діагностична модель дає можливість реалізувати запропоновані дефекти у ВП ГЕУ з асинхронним двигуном. Крім того, вона дозволяє моделювати обрив обмотки збудження за допомогою ключа  $S_3$ , і кусочно - лінійного джерела напруги (VPWL) V7.

Побудовані діагностичні моделі ВП ГЕУ змінного струму дозволяють імітувати різні види дефектів, які проводять до його відмови. При знятті і порівнянні отриманих характеристик на виході ВП ГЕУ можна оцінити характер впливу кожного дефекту на ступінь працездатності ВП ГЕУ.

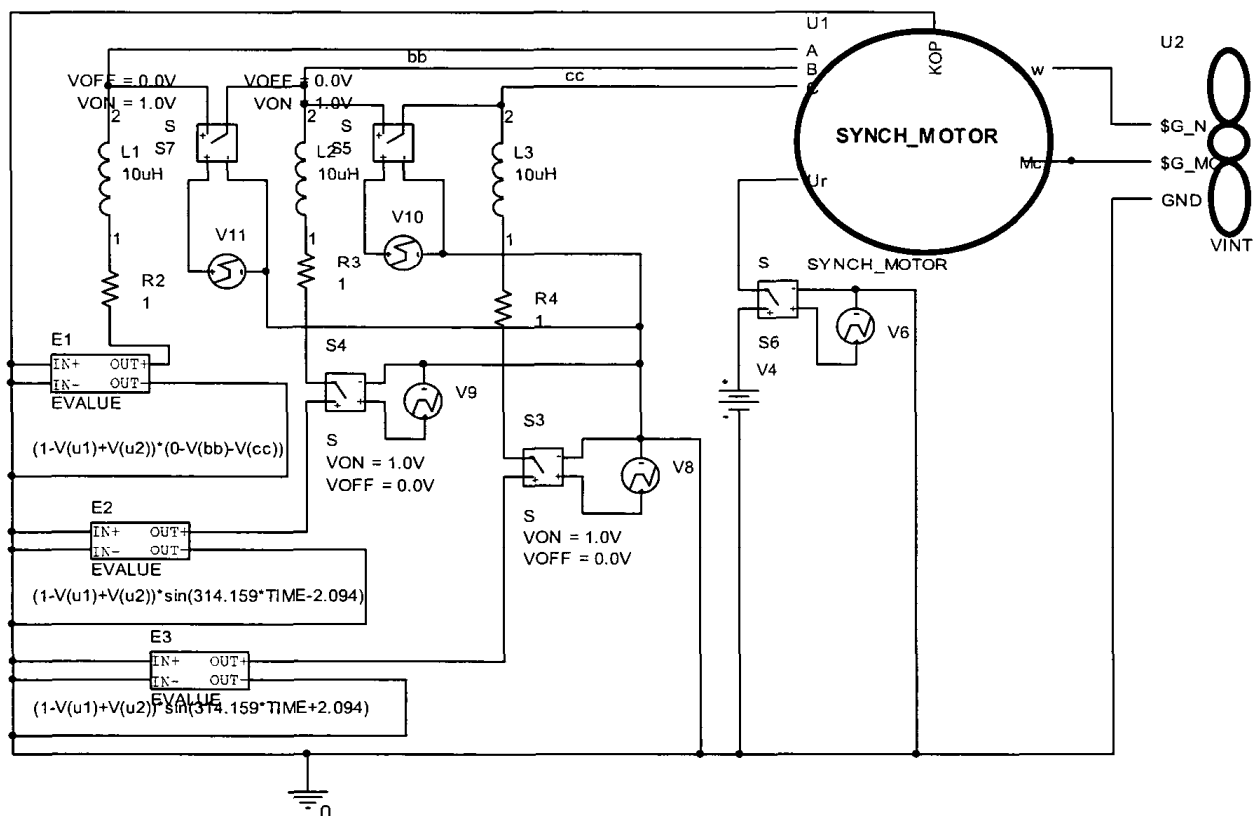


Рисунок 2.28. - Діагностична модель ВП ГЕУ з синхронним двигуном з обмоткою збудження

Крім того, при експлуатації гребної електричної установки може бути трапитися поєднання цих дефектів одночасно. Вплив дефектів на ступінь працездатності ВП ГЕУ розглядається в наступному розділі.

В роботі було розглянуто ВП ГЕУ в режимі повільної зміни швидкості при русі судна у вільній воді внаслідок переходу від одного усталеного режиму до іншого.

Зміна характеристик ВП ГЕУ змінного струму при варіюванні амплітуди напруги мережі живлення в діапазоні  $\pm 10\%$  від номінального, показано на рис. 2.29.

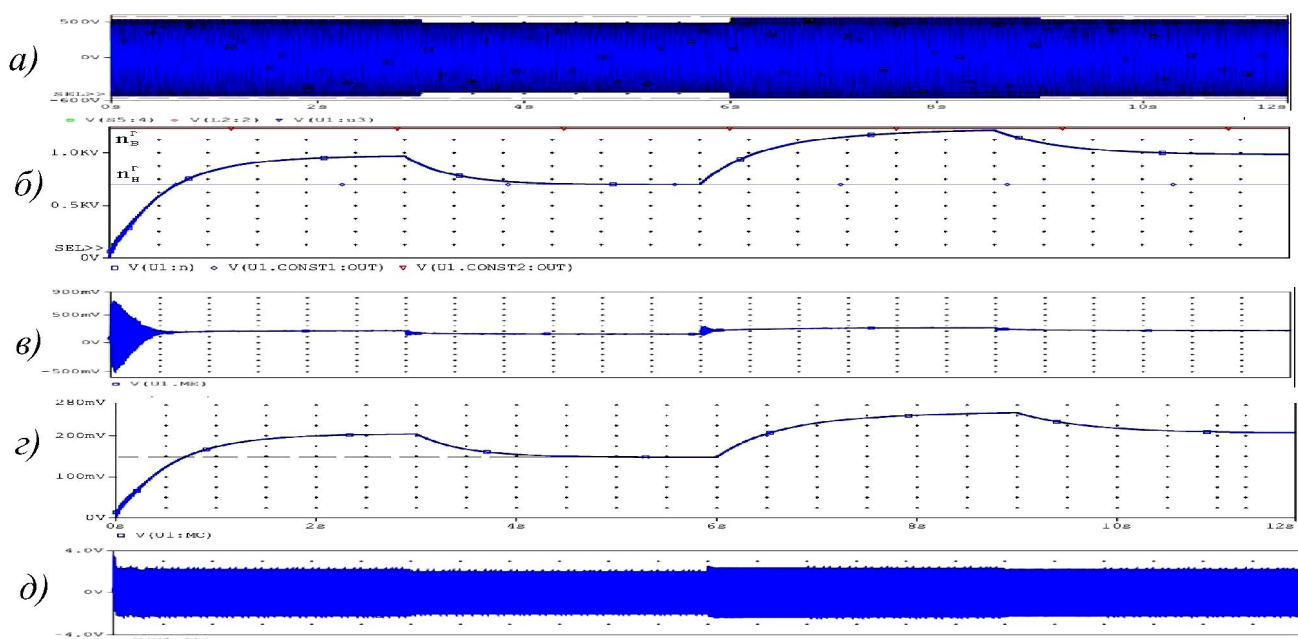


Рисунок 2.29. - Характеристики ВП ГЕУ в граничному стані:

а - трифазна напруга мережі живлення; б - частота обертання гребного гвинта, в - електромагнітний момент ГЕД, г – момент опору ГВ, д - струм обмотки статора

Характеристики ВП ГЕУ при обриві однієї фази обмотки статора ГЕД показані на рис. 2.30.

Результат моделювання показує, що дефект типу обрив однієї фази обмотки статора ГЕД значно зменшує працездатність ВП ГЕУ, причому частота обертання ГВ зменшується і виходить з області працездатності.

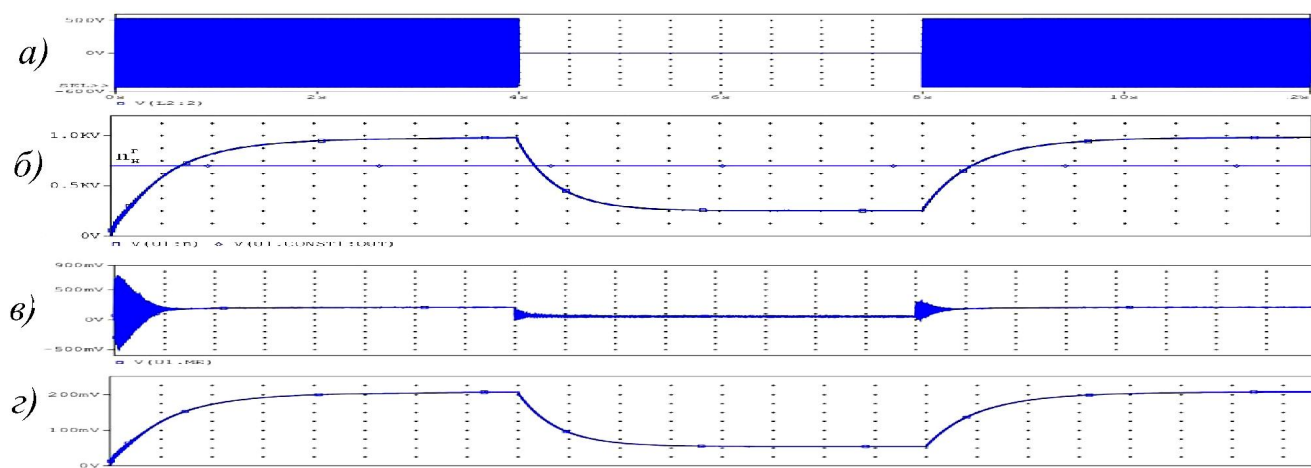


Рисунок 2.30. - Характеристики ВП ГЕУ при обриві однієї фази обмотки статора ГЕД: а - напруга фази, б - частота обертання ГВ, в - електромагнітний момент ГЕД, г - момент опору ГВ

Характеристики ВП ГЕУ при короткому замиканні двома фазами обмотки статора ГЕД показані на рис. 2.31.

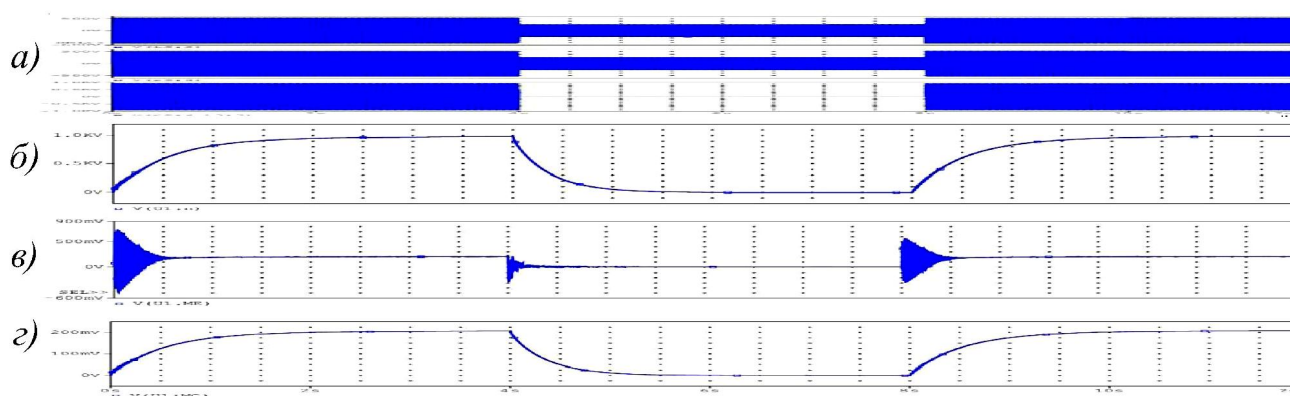


Рисунок 2.31. - Характеристики ВП ГЕУ при короткому замиканні двома фазами обмотки статора ГЕД: а - відносна напруга між короткоз'єднаними фазами, і напруга на цих фазах, б - частота обертання ГВ, в - електромагнітний момент ГЕД, г - момент опору

Результат моделювання показує, що при короткому замиканні двома фазами обмотки статора ГЕД зупиняється і призводить до відмови ВП ГЕУ в цілому. При цьому судно не може підтримувати задану швидкість, втрачає хід у вільній воді і переходить до аварійного режиму.



Розробка діагностичних моделей ВП ГЕУ змінного струму із застосуванням САПР Orcad може реалізувати основні дефекти його елементів, які можуть зменшувати працездатність або приводити ВП ГЕУ до відмови.

Результати дослідження дають можливість розробляти підходи до захисту елементів ВП ГЕУ, а також дозволяють проектувальнику приймати об'єктивні рішення при розробці структури і конструкції об'єкта.

## Висновки до розділу 2

1. Класифіковано різні діагностичні моделі ВП ГЕУ і вибір діаграми проходження сигналів як відповідної моделі для аналізу.
2. Побудовано структурні і функціональні схеми ВП ГЕУ змінного струму з асинхронним двигуном і з синхронним двигуном.
3. Розроблено діагностичні моделі ВП ГЕУ змінного струму з асинхронним двигуном і з синхронним двигуном у вигляді ДПС.
4. Розроблено алгоритм розрахунку чутливості частотних характеристик ФП ВП ГЕУ змінного струму з асинхронним двигуном і з синхронним двигуном.
5. Розроблено алгоритм перевірки ступеня працездатності ВП ГЕУ змінного струму який дозволяє визначити послідовність виконання перевірок окремих блоків ВП ГЕУ при зниженні його працездатності.
6. Визначено залежність ступеня працездатності ВП ГЕУ змінного струму від ступенів працездатності окремих діагностичних параметрів об'єкта, яка дозволяє дізнатися момент, коли необхідно здійснюватися перевірки ступеня працездатності окремих блоків.
7. Побудовано діагностичні моделі окремих компонентів на основі математичного опису та застосування процедур створення ієрархічних схем і проектів моделювання. Розроблено загальні схеми ВП ГЕУ змінного струму для дослідження його працездатності.

## РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 3.1. Загальні положення

Закон України про охорону праці визначає основні положення щодо реалізації конституційного права працівників на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці, регулює за участю відповідних органів державної влади відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Охорона праці — це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці [44, 45].

Умови праці — сукупність факторів виробничого середовища і трудового процесу, які впливають на здоров'я і працездатність людини в процесі її професійної діяльності.

Роботодавець - власник підприємства, установи, організації або уповноважений ним орган, незалежно від форм власності, виду діяльності, господарювання, і фізична особа, яка використовує найману працю.

Працівник - особа, яка працює на підприємстві, в організації, установі та виконує обов'язки або функції згідно з трудовим договором (контрактом).

### 3.2. Небезпечні та шкідливі фактори на судні

Шкідливими і небезпечними факторами на судні для електромеханіка є: підвищений рівень шуму і вібрації, високі електромагнітні випромінювання, недостатню освітленість робочого місця, підвищене значення напруги в електричних колах.

Під шумом мається на увазі будь-який звук, що порушує тишу і має

шкідливий вплив на організм людини. Рівні шуму в суднових приміщеннях нерідко перевищують санітарні норми: у машинних відділеннях морських суден – на 20 дБ, в службових на 25 дБ і більше. Більшість цих перевищень збігається з діапазоном частот 2000 – 6000 Гц, несприятливо діючих на організм електромеханіка, працюючого в машинному відділенні.

Особливістю праці електромеханіка є цілодобовий, часто багатомісячний безперервний вплив шуму на організм. Ступінь шкідливого впливу шуму на організм визначається його інтенсивністю, частотним спектром і постійністю впливу, індивідуальною чутливістю організму, а також супутніми чинниками суднового середовища: вібрацією, НВЧ і ВЧ випромінюваннями, токсичними виділеннями полімерних матеріалів. Стомлюючий і шкідливий вплив шуму зростає із збільшенням його частоти. Шум справляє негативний вплив на слуховий аналізатор, центральну нервову систему, серцево – судинну і травні системи, а також викликає зміну гормональної регуляції організму.

Найбільш виражене підвищення порога слухової чутливості (до 15дБ і більше) спостерігається у членів машинних команд, що піддаються впливу шуму підвищеної інтенсивності. Порушення слуху у машинної команди в 10% випадків частіше, ніж у палубної.

Вібрація. Головними джерелами вібрацій на судах є гребні гвинти, двигуни, валопроводи і допоміжні механізми.

У робітника, що протягом тривалого часу піддається безперервному впливу вібрації, можуть відбутися різні порушення у функціональному стані організму. При цьому залежно від інтенсивності коливань і часу їх дії можуть спостерігатися зміни в центральній і вегетативній нервовій системі, серцево - судинній системі, вестибулярному апараті. Вібрація діє на кору головного мозку, викликаючи розвиток фазових станів і розлитого гальмування з одночасним розгальмуванням підкорних центрів.

Коливання з малою частотою і великою амплітудою можуть призводити до зміщення внутрішніх органів і появи вегетативних реакцій, що супроводжуються порушеннями секретної і моторної діяльності шлунково-кишкового тракту.

Характерним для дії вібрації є зниження збудливості органу рівноваги. Спостерігаються запаморочення і спонтанні вестибулярні симптоми, порушення ритму ністагму, вегетативні реакції.

Реакція серцево - судинної системи на дію вібрації протягом перших років роботи виражається гіпотонією, надалі розвивається в гіпертонію.

Електромагнітні випромінювання. Ступінь опромінення електричним полем залежить від рівня його напруженості і тривалості дії. Тривалість перебування електромеханіка в електричному полі повинна знаходитися в зворотній залежності від напруженості поля.

Випромінювана в навколишнє середовище електромагнітна енергія може чинити несприятливий вплив на організм людини. Механізм дії ЕМП пояснюється його тепловим і нетепловим (атермічним) ефектами. Тепловий ефект залежить від інтенсивності опромінення і характеризується підвищенням температури тіла, а також локальним виборчим нагріванням тканин, органів і клітин. Тривала дія ЕМП призводить до функціональних змін нервової системи, що проявляється в підвищеній стомлюваності, головному болю, сонливості, дратівливості, болю в області серця. Після припинення опромінення ці явища швидко проходять. Однак систематична дія ЕМП високої напруженості може привести до функціональних змін серцево - судинної системи і зміни показників периферичної крові. При порушенні техніки безпеки, в аварійних ситуація може мати місце опромінення високої інтенсивності, що викликає деструктивні зміни в органах і тканинах. Дія випромінювання НВЧ може призвести до розвитку катаракти. Відзначаються також порушення з боку ендокринної системи.

Ураження електричним струмом. Дія електричного струму на живий організм різноманітна. Можливі місцеві опіки, електроліз крові і лімфатичних рідин, порушення функції нервової системи. До побічних дій електричного струму можна віднести механічні пошкодження (переломи, удари, вивихи), викликані падінням з висоти або різким мимовільним скороченням м'язів, а також ураження органів зору в результаті сліпучого впливу електричної дуги. Найбільш вразливі місця на тілі людини розташовуються на скронях, спині, тильних

сторонах рук, гомілках, потилиці і на шії.

Прийнято всі види ушкоджень під впливом електричного струму поділяти на дві групи: електричні травми, тобто місцеве ураження організму, і електричні удари, які супроводжуються різким порушенням живих тканин.

Електричний удар може привести до судомного скорочення м'язів як з втратою так і без втрати свідомості, може викликати зупинку дихання і навіть зупинку серця, в результаті якої настає клінічна смерть, яка веде через 6-8 хв. до загибелі людини. Змінний струм частотою 50...60 Гц напругою до 500 В являє собою більшу небезпеку, ніж постійним. Із збільшенням частоти вражаюча дія струму зменшується, зростає його теплова складова.

Іншими факторами, що впливають на результат ураження електричним струмом, є підвищена температура і вологість, шум, вібрація, незадовільне освітлення, обмеженість приміщення тощо.

Освітленість. Забезпечуючи безпосередній зв'язок організму з навколишнім світом, світло є сигнальним подразником для органа зору й організму в цілому: достатнє освітлення діє тонізуюче, поліпшує протікання основних процесів вищої нервової діяльності, стимулює обмінні й імунобіологічні процеси, впливає на формування добового ритму фізіологічних функцій організму людини.

При недостатній освітленості або за наявності значних змін освітленості чи умов видимості органам зору необхідно пристосовуватися; це можливо завдяки властивостям очей - акомодатції й адаптації.

Часті зміни рівнів яскравості призводять до зниження зорових функцій, розвитку стомлення внаслідок переадаптації ока. Зорове стомлення, викликане напруженою роботою та частою переадаптацією, призводить до зниження зорової і загальної працездатності.

Природний процес зниження видимості під час адаптації зору може стати причиною травмування людини, яка у цей період втрачає здатність візуального контролю свого перебування в небезпечній зоні на виробництві. Для наближення часу адаптації до нуля необхідно, щоб первинна і вторинна яскравості відрізнялися не більш ніж у 3-5 разів.

Світильники, що гойдаються, значно погіршують візуальне сприйняття, змушуючи зір увесь час переадаптовуватися. З цієї ж причини неприпустиме використання в приміщеннях ламп без освітлювальної арматури.

Недостатнє і нерівномірне освітлення робочих місць призводить до перенапруги зору, перевтоми організму, до виникнення надмірної нервової дратівливості, ослаблення уваги. У працюючих у таких умовах спостерігаються дефекти зору – короткозорість, зниження гостроти зору й інше.

Негативно впливає на зір не тільки недостатня освітленість, а й занадто яскраве освітлення. Перевищення норм яскравості веде до зниження функцій зору, викликає роздратування і різь в очах, головні болі.

Саме тому важливим фактором є правильний розрахунок освітлення в приміщенні машинного відділення.

### 3.3. Організація безпеки праці при експлуатації і ремонті суднового електрообладнання

Основними умовами забезпечення безпеки праці при експлуатації суднового електрообладнання є: справність і надійність роботи засобів автоматики, сигналізації, контролю, вимірювання та захисту; відмінне знання обслуговуючим персоналом пристрою електрообладнання та правил його експлуатації; регулярний інструктаж і перевірка знань з електробезпеки [46].

Для забезпечення безпомилкового орієнтування, визначення роду струму і фази (полюси) кабелі та дроти електричних трас маркують, а шини фарбують у відповідні відмітні кольору.

При проведенні ремонтних і профілактичних операцій з судновим електрообладнанням всі роботи за ступенем електробезпеки поділяються на виконувані без зняття напруги, при частково або повністю знятій напрузі.

Необхідні заходи обережності при проведенні цих видів робіт залежно від конкретних умов викладені в Правилах техніки безпеки на суднах морського флоту. Цими правилами, зокрема, передбачено, що всі роботи з огляду та ремонту

суднового електрообладнання повинні проводитися при повністю знятій напрузі. Робота без зняття напруги допускається тільки при аварійних ситуаціях за участю старшого електромеханіка і з точним дотриманням всіх заходів, що забезпечують безпеку їх виконання. У вигляді виключення персоналу дозволяється проводити деякі роботи з обслуговування електротехнічних пристроїв без зняття напруги. Конкретний перелік таких робіт, які виконуються в період поточної експлуатації, регламентується старшим електромеханіком судна. На електрообладнанні, установленому в вологих, вибухо- і пожежонебезпечних приміщеннях, проводити роботи без повного зняття напруги категорично забороняється.

Обслуговування працюючих електричних машин та перетворювачів здійснюють вахтовий механік і, якщо це передбачено штатним розписом, вахтовий електрик. При обслуговуванні електричних машин необхідно дотримуватися запобіжних заходів від поразки електрострумом, рекомендовані інструкцією і правилами.

При аварійних відключеннях обладнання необхідно твердо знати, що після зникнення напруги вона може бути подана знову без попередження про це персоналу.

Час ремонту механізму без його розбирання, що працює від електродвигуна, цей механізм повинен бути зупинений, а на його пусковому пристрої повішений плакат з написом: "Не вмикати! Працюють люди". Всі від'єднані від електричної машини фази кабелю необхідно накоротко замкнути і заземлити.

Стан ізоляції електричних машин, проводів, кабелів і радіотехнічних пристроїв повинно систематично контролюватися. Зазвичай для перевірки рівнів опору ізоляції використовують мегомметри. Перевірка опору ізоляції повинна проводитися особами електротехнічного персоналу тільки при знятій напрузі не рідше одного разу на місяць. У разі виявлення пробою ізоляції, а також зниження її опору нижче допустимих норм необхідно відключити електротехнічний пристрій і з урахуванням умов плавання провести відновлення ізоляції. Опір ізоляції вимірюється відносно корпусу судна і між струмоведучими частинами



установок, що знаходяться в експлуатації. Згідно з Правилами Регістру опір ізоляції визначається залежно від робочої напруги.

Головні розподільні щити (ГРЩ), пульти та станції управління повинні бути постійно зачинені на замок. Ключі від ГРЩ повинні знаходитися у електромеханіка та біля посту управління головною машиною або в центральному посту управління (ЦПУ). Входити за головні розподільні щити та щити управління особам, які не допущеним до їх обслуговування, забороняється. Перед початком робіт з розподільними пристроями, пультами управління, щитами, а також будь комутаційної апаратурою необхідно переконатися в тому, що палуба біля них, а також у проходах у щитів по всій їх довжині покрита діелектричними килимками. Перед початком робіт з обслуговування комутаційних пристроїв з автоматичним приводом і дистанційним керуванням з метою попередження помилкового або випадкового їх включення необхідно зняти запобіжники всіх фаз ланцюгів управління та силових ланцюгів і вивісити плакати на ключах і кнопках дистанційного керування з написом: "Не вмикати! Працюють люди". Робота зі встановлення і зняття запобіжників проводиться при знятій напрузі і відключеному навантаженні в діелектричних рукавичках і захисних окулярах. Роботу по очищенню розподільних пристроїв без зняття напруги рекомендується проводити за допомогою спеціальних щіток або пілососів, забезпечених шлангом з ізолюючим наконечником. Робота виконується тільки в діелектричних рукавичках. Очищення ізоляції без зняття напруги проводиться не менше ніж двома особами електротехнічного персоналу. Включення і відключення на ГРЩ, ЦПУ суднової енергетичної установки повинні здійснюватися тільки вахтовим механіком або електромеханіком. У разі виявлення несправностей, які можуть призвести до нещасних випадків з людьми або великої аварії, вахтовий електрик або механік повинен самостійно провести необхідні відключення і включення з подальшим повідомленням про це старшого механіка або електромеханіка.

Надаючи допомогу ураженому електрострумом, необхідно негайно зняти напругу з струмоведучих частин (без отримання на це дозволу), а потім доповісти про це старшому механіку і електромеханіка.

На рукоятках автоматів, рубильниках і кнопках управління, за допомогою яких може бути знову подано напруга до місця робіт, особа, яка провадить відключення, обов'язково має вивісити заборонний плакат з написом: "Не вмикати! Працюють люди". Перевірку наявності в ланцюзі електричного потенціалу до 1000 В допускається виконувати за допомогою показчика напруги або переносного вольтметра. Контрольні лампи допускається застосовувати при лінійній напрузі до 220 В. Всі роботи, що виконуються персоналом з поточної експлуатації, повинні бути зафіксовані в електротехнічному формулярі, регулярно перевіряється електромеханіком судна.

#### 3.4. Розрахунок штучного освітлення

Загальна схема проектування системи штучного освітлення проводиться за коефіцієнтом використання світлового потоку.

Приміщення має світлі стіни і стелю: коефіцієнт відбиття  $\rho_{\text{стелі}}=0,7$ ;  $\rho_{\text{стін}}=0,5$

Висота робочих поверхонь:  $h_p = 0,7$  м.

Мінімальна освітленість за нормами  $E = 75$  лк для зорових робіт класу VIIa.

Висота виробничого приміщення  $H = 4,5$  м

Обираємо світильник типу ПВЛМ-Р з лампами ДРЛ.

Світловий потік лампи світильника розраховується за формулою:

$$\Phi_L = \frac{ESK_3Z}{Nn\eta}, \quad (3.1)$$

де  $E$  – нормована згідно з класом зорових робіт:

$S$  – площа приміщення, що освітлюється;  $\text{м}^2$ ;

$K_3$  – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп ( $K_3 = 1,6$ );

$Z$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення ( $Z = 1,15$  для ламп розжарювання

та ДРЛ;  $Z = 1,1$  для люмінесцентних ламп, якщо відношення  $L/h$  не перевищує встановлених значень);

$N$  – кількість світильників;  $n$  – кількість ламп у світильнику;

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку. Визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення  $i$ :

Показник приміщення  $i$  становить:

$$i = \frac{L \cdot B}{h(L + B)} = \frac{27,7 \cdot 6}{3,5(27,7 + 6)} = 1,41, \quad (3.2)$$

де  $h$  – висота підвісу світильників над робочою поверхнею,  $h = 3,5$  м;

де  $h_c$  – висота підвісу світильника, 1 м.

При  $i = 1,41$ ;  $\rho_{\text{стелі}} = 0,7$ ;  $\rho_{\text{стін}} = 0,5$  коефіцієнт використання світильника ПВЛМ-Р  $\eta = 51\%$ .

Визначимо необхідну кількість світильників для забезпечення необхідної нормованої освітленості робочих поверхонь, якщо відомо, що в кожному світильнику встановлено по дві лампи ДРЛ 80, а світловий потік однієї такої лампи становить  $\Phi_{\text{л}} = 3200$  лм. З формули (3.1):

$$N = \frac{ESK_3 Z}{\Phi_{\text{л}} n \eta} = \frac{100 \cdot 320 \cdot 1,6 \cdot 1,15}{3200 \cdot 2 \cdot 0,51} = 17 \text{ шт.} \quad (3.3)$$

Приймаємо 18 світильників ПВЛМ-Р з двома лампами ДРЛ 80 кожен. Потужність однієї лампи  $P_{\text{CB}} = 80$  Вт. Тоді сумарна електрична потужність усіх ламп, встановлених у приміщенні становить:

$$\sum P_{\text{CB}} = P_{\text{CB}} \cdot N \cdot n = 80 \cdot 18 \cdot 2 = 2,88 \text{ кВт}$$

## РОЗДІЛ 4. ВИМОГИ ДО КОНСТРУКЦІЇ СУДЕН ТА ЇХ ОБЛАДНАННЯ ЩОДО ЗАПОБІГАННЯ ЗАБРУДНЕННЮ НАФТОЮ

### 4.1. Обсяг нагляду

1.3.1 Загальні положення про порядок нагляду за обладнанням і пристроями щодо запобігання забрудненню нафтою, їх виготовленням і технічним наглядом, а також вимоги до технічної документації, що подається на розгляд Регістру, і вказівки про документи, які видаються Регістром на це обладнання та пристрої, викладені в частині «Загальні положення» цих Правил [49] і в:

Правилах огляду суден (ПОС);

Правилах технічного нагляду за побудовою суден і виготовленням матеріалів і виробів (ПТНП);

Керівництві з огляду морських суден в експлуатації (КОМСЕ).

1.3.2 Нагляду Регістра при виготовленні підлягають:

- .1 суднові установка очищення нафтовмісних вод на  $15\text{млн}^{-1}$ ;
- .2 попереджувальні сигналізатори на  $15\text{млн}^{-1}$ ;
- .3 системи автоматичного вимірювання, реєстрації та керування скиданням баластних і промивних вод;
- .4 прилади для вимірювання вмісту нафти, призначені для контролю за скиданням забруднених нафтою вод з району вантажних танків нафтоналивних суден;
- .5 прилади для визначення поверхні розділення «нафта/вода»;
- .6 пристрою для миття танків сировою нафтою;
- .7 зливальне з'єднання для здавання нафтовмісних трюмних вод;
- .8 система перекачування, здавання і скидання нафтовмісних вод.

1.3.3 До початку виготовлення Регістру повинна бути представлена на розгляд і схвалення наступна технічна документація:

- .1 суднові установка очищення нафтовмісних вод на  $15\text{млн}^{-1}$ ;

.1.1 технічний опис і принцип роботи, інструкція з експлуатації та технічного обслуговування (штампи про схвалення не ставляться);

.1.2 креслення загального вигляду з розрізами (конструкція сепаратора, фільтра, основні розміри, застосовувані матеріали і покриття);

.1.3 складальні креслення насосів та інших пристроїв, що входять в установку;

.1.4 креслення зварних вузлів (корпусів, фундаментної рами та інших деталей), що містять дані по зварюванню;

.1.5 схеми обслуговуючих систем у межах установки;

.1.6 принципова електрична схема установки, схема керування, регулювання, контролю, сигналізації та захисту;

.1.7 програма випробувань головного і серійного зразків;

.1.8 перелік відповідальних деталей із вказівкою механічних характеристик матеріалу і пробного гідравлічного тиску;

.1.9 номенклатура запасних частин;

.2 системи автоматичного вимірювання, реєстрації та керування скиданням баластних і промивних вод, прилади, призначені для контролю за скиданням забруднених нафтою вод з району вантажних танків нафтоналивних суден, і сигналізатори на  $15\text{млн}^{-1}$ ;

.2.1 опис принципу дії із вказівкою технічних параметрів, інструкція з експлуатації і технічного обслуговування, дані по надійності (штампи про схвалення не ставляться);

Опис повинний включати схеми і креслення насосів і трубопроводів, що вказують експлуатаційні зливальні отвори для брудного баласту і забрудненої нафтою води з району вантажних танків, які відповідають експлуатаційним вимогам, викладених у Керівництві з вантажних і баластних операцій нафтових танкерів. Особлива увага повинна бути приділена установкам на нафтових танкерах, які мають нестандартне насосне устаткування і системи трубопроводів;

.2.2 креслення загального виду;

.2.3 специфікація із вказівкою застосованих матеріалів і комплектуючих виробів;

.2.4 принципова і функціональна схеми;

.2.5 креслення арматури для автоматичного припинення скидання (якщовона є);

.2.6 програма випробувань головного і серійного зразків;

.2.7 номенклатура запасних частин;

.2.8 інструкції з експлуатації устаткування, що поставляється виготовлювачами, які повинні містити докладні відомості про основні елементи системи керування скиданням;

.2.9 Керівництво з технічної експлуатації всієї системи керування скиданням, пропонованої для встановлення на нафтовому танкері. Це Керівництво повинно охоплювати устрій і експлуатацію системи в цілому і містити опис тих частин системи, які не охоплюються інструкціями виготовлювача з експлуатації устаткування;

.2.9.1 експлуатаційний розділ керівництва повинний включати звичайні експлуатаційні методи та способи скидання нафтовмісних вод у випадку несправності устаткування;

.2.9.2 технічний розділ керівництва повинний включати необхідну інформацію (опис схем і креслень насосів і трубопроводів системи керування скиданням, а також електричні та електронні схеми), для того, щоб забезпечити виявлення несправностей, і повинний включати інструкцію відносно ведення записів про технічне обслуговування;

.2.9.3 технічні вимоги до монтажу, що визначають, зокрема, розташування і складання елементів, пристроїв для підтримки непроникності перекриттів між безпечними й вибухонебезпечними приміщеннями і устрою трубопроводів для добору проб, включаючи розрахунок часу спрацювання при доборі проб, зазначеного в 3.2.1.9. Монтаж повинний відповідати конкретним критеріям виготовлювача, що стосується монтажу;

.2.10 екземпляр свідоцтва про схвалення типу приладу для визначення вмісту нафти і технічну документацію, що стосується інших головних елементів системи керування скиданням;

.2.11 методику випробувань і перевірок, розроблену для встановлюваної системи керування скиданням. Ця методика повинна визначати всі перевірки, необхідні при функціональних випробуваннях, особою, що займається монтажем устаткування, і служити керівництвом для інспектора, коли він проводить огляд системи керування скиданням на борту судна і підтверджує, що монтаж відповідає конкретним критеріям виготовлювача, що стосуються монтажу

.3 прилади для визначення поверхні розділення «нафта/вода»:

.3.1 технічний опис і основні характеристики (штампи про схвалення не ставляться);

.3.2 креслення загального вигляду;

.3.3 специфікація із вказівкою застосовуваних матеріалів і комплектуючих виробів;

.3.4 принципова схема;

.3.5 програма випробувань головного і серійного зразків;

.3.6 документи компетентних органів, що підтверджують можливість використання приладу в небезпечних зонах на нафтоналивних і прирівняних до них суднах;

.4 пристрою для миття танків сировою нафтою:

.4.1 технічний опис і принцип дії мийної машинки, інструкція з експлуатації і технічного обслуговування (штампи про схвалення не ставляться);

.4.2 креслення загального вигляду з розрізами;

.4.3 креслення валів, шестерень і коліс зубчастих передач;

.4.4 складальні креслення мийної машинки;

.4.5 схеми пристроїв для керування, регулювання і контролю;

.4.6 програма випробувань головного і серійного зразків;

.4.7 перелік відповідальних деталей із вказівкою механічних характеристик матеріалу;

.5 зливальне з'єднання для здавання трюмних нафтовмісних вод:

.5.1 складальні креслення зливального з'єднання із вказівкою матеріалів і пробного гідравлічного тиску.

## 4.2. Вимоги до машинних відділень усіх суден

2.1.1 Танки для нафтових залишків (нафтовмісних осадів) (діє з 01.01.2017).

2.1.1.1 Якщо не вказано інше, це правило застосовується до кожного судна валовою місткістю 400 і вище, за винятком того, що вимоги 2.1.1.3.5 необхідно застосовувати тільки наскільки це доцільно і практично до суден, які поставлені 31 грудня 1979 року або до цієї дати, як вони визначені в 2.1 частини «Загальні положення» цих Правил.

2.1.1.2 Нафтові залишки (нафтовмісні осади) можуть бути видалені безпосередньо з танка(ів) нафтових залишків (нафтовмісних осадів) в приймальні споруди через стандартне зливальне з'єднання, указане в 2.1.8, або через будь-який інший схвалений пристрій утилізації нафтових залишків (нафтовмісних осадів), такий, як інсинератор, допоміжний котел для спалювання відповідних нафтових залишків (нафтовмісних осадів) або інші прийнятні пристрої, які повинні бути указані у пункті 3.2 Додатку до свідоцтва ІОРР форми А або В.

2.1.1.3 Танк(и) нафтових залишків (нафтовмісних осадів) повинні бути передбачені, а також:

.1 повинні бути достатнього об'єму, з урахуванням типу механізмів і тривалості рейсу, щоб утримувати нафтові залишки (нафтовмісні осади), які не можуть бути перероблені (видалені) іншим чином згідно з вимогами цієї частини;

.2 повинні бути забезпечені виділенням насосом, який здатний забезпечити всмоктування з танка(ів) нафтових залишків (нафтовмісних осадів) для видалення їх згідно з 2.1.1.2;

.3 не повинні мати взаємних з'єднань з системою лляльних вод, танком(ами) нафтовмісних трюмних вод, відстійним танком або сепараторами нафтовмісної води, за виключенням того, що:



.3.1 танк(и) може бути пристосований для дренажних стоків, з ручним керуванням самозакривними клапанами і пристроями для подальшого візуального контролю відведеної води, що відводиться в танк для нафтовмісної трюмної води або трюм, або альтернативним пристроєм, передбаченим як пристрій, не з'єднаний безпосередньо з системою осушувальних трюмних трубопроводів; і

.3.2 випускний трубопровід танка нафтовмісних осадів і осушувальний трубопровід можуть бути підключені до загального трубопроводу, що веде до стандартного зливального з'єднання, указанного в

2.1.8; підключення обох систем до можливого загального трубопроводу, що веде до стандартного зливального з'єднання, указанного в 2.1.8, не повинно допускати передачі нафтовмісних осадів в осушувальну систему;

.4 не повинні бути зв'язані з будь-ким трубопроводом, який має пряме відведення за борт, крім стандартного зливального з'єднання, указанного в 2.1.8; і

.5 повинні бути спроектовані і побудовані таким чином, щоб полегшити їх очищення і скидання залишків у приймальні споруди.

2.1.1.4 Судна, побудовані до 1 січня 2017 року повинні бути приведені у відповідність до пункту 2.1.1.3 не пізніше першого огляду для поновлення свідоцтва ІОРР, що здійснюється 1 січня 2017 року або після цієї дати.

2.1.1.5 Якщо цього вимагають умови експлуатації, для збирання та зберігання відпрацьованих мастил повинна передбачатися цистерна для відпрацьованого мастила головних і допоміжних двигунів або один чи кілька спеціальних резервуарів, місткістю яких щонайменше в півтора рази перевищує об'єм відпрацьованих мастил із всіх двигунів внутрішнього згоряння та всіх установлених механізмів, а також мастил для гідравлічних систем, яке знаходиться в баках, призначених для їхнього зберігання.

У випадку, якщо загальна кількість мастила в картерах всіх двигунів внутрішнього згоряння та всіх установлених механізмів разом з гідравлічними системами становить 300 літрів чи більше, резервуари повинні бути стаціонарними цистернами і повинні бути обладнані сигналізацією, що подає

візуальний і звуковий сигнали в рульову рубку або центральний пост керування по досягненню 80% заповнення цистерн.

### 2.1.2 Устрій танків для нафтовмісних відходів

2.1.2.1 Танк(и) нафтових залишків (нафтовмісних осадів) можуть бути окремими і незалежними, такими як:

- танк(и) для осадів сепарації, які утворюються в результаті сепарації (пурифікації) рідкого палива і мастила;
- танк(и) для відсепарованої («брудної/нафтовмісної») води і відпрацьованої контрольної води із сепараторів палива/паливоочисників;
- танк(и) для відсепарованих нафтовмісних відходів судових установок очищення нафтовмісних вод на  $15\text{млн}^{-1}$ ;
- танк(и) для дренажного мастила і мастила витоків;
- танк(и) для відпрацьованої нафти, відпрацьованого мастила на судах, на яких для головних і допоміжних двигунів потрібна повна заміна мастила в морі; або можуть бути належним чином об'єднані, в залежності від розмірів характеру експлуатації судна, у збірні танки нафтових залишків (нафтовмісних осадів).

2.1.2.2 При проектуванні необхідно враховувати переваги розміщення на судні незалежного танку для збирання осадів сепарації, які утворюються в результаті сепарації (пурифікації) рідкого палива і мастила, враховуючи менший об'єм танку та зменшену потребу в просторі для його розташування. Цей незалежний танк повинен мати пристрої для очищення та підігріву та розташовуватися, переважно, вище настилу подвійного дна.

2.1.2.3 Судна, які експлуатуються з рідким паливом відносною щільністю при  $15^{\circ}\text{C}$  більше 0,94, повинні бути обладнані збірним танком для нафтовмісних трюмних вод достатньої місткості і обладнані засобами підігріву нафтовмісної суміші до скидання умісту танка в море через обладнання на  $15\text{млн}^{-1}$ .

2.1.2.4 Збірний танк для нафтовмісних трюмних вод повинний бути окремим і незалежним від інших танків для збирання осадів.

Збірний танк для нафтовмісних трюмних вод повинний бути улаштований таким чином, щоб забезпечувалося приймання і зберігання трюмних вод, що

утворюються, до їх скидання у берегові приймальні пристрої або за бортчерез обладнання на  $15\text{млн}^{-1}$ .

Збірний танк для нафтовмісних трюмних вод не є обов'язковим для всіх суден, проте він дозволяє суднам безпечно експлуатуватися при відвідуванні портів, в особливих районах і прибережних водах та в період технічного обслуговування обладнання на  $15\text{ млн}^{-1}$ .

Збірний танк для нафтовмісних трюмних вод також повинний забезпечувати додаткові запобіжні заходи при очищенні нафтовмісних трюмних вод, якщо для цілей очищення будуть використовуватися детергенти, що швидко сепарують.

2.1.2.5 На суднах категорії Аі В, які перебувають в стадії побудови 1 січня 2017 року або після цієї дати, у випадку їх експлуатації в Полярних водах, в межах, визначених Полярним кодексом, прийнятим резолюцією МЕРС.264(68), усі танки для нафтових залишків (нафтовмісних осадів) і танки для нафтовмісних трюмних вод повинні знаходитися на відстані не менше 0,76м від зовнішньої обшивки. Це положення не застосовується до малих танків з максимальною місткістю не більше  $30\text{м}^3$ .

2.1.3 Місткість танків для нафтовмісних відходів.

2.1.3.1 Місткість танків для нафтових залишків (нафтовмісних осадів).

.1 Для суден, які не перевозять водяний баласт в танках для нафтового палива, мінімальна місткість танка для нафтових залишків (нафтовмісних осадів) ( $V_1$ ) повинна розраховуватися за формулою:

$$V_1 = K_1 \times C \times D, \text{ м}^3$$

де:

$K_1=0,01$  – для суден, на яких важкенафтове паливо очищається для використання в головному двигуні;

0,005 – для суден, що використовують дизельне паливо або важкенафтове паливо, яке для використання не вимагає очищення;

$C$  – добове споживання нафтового палива ( $\text{м}^3$ );

D – максимальний період рейсу між портами, де нафтові залишки (нафтовмісні осади) можуть бути скинуті на берег (діб). У разі відсутності точних даних треба приймати 30 діб.

.2 Для суден, які не перевозять водяний баласт в танках для нафтового палива, обладнаних гомогенізаторами, інсенираторами нафтових залишків (нафтовмісних осадів) або іншими визнаними засобами на борту для обмеження нагромадження нафтових залишків (нафтовмісних осадів), мінімальна місткість танка для нафтових залишків (нафтовмісних осадів) ( $V_1$ ), повинна становити:

$V_1 = 1\text{ м}^3$  – для суден валовою місткістю 400 і більше, але менше 4000, або

$V_1 = 2\text{ м}^3$  – для суден валовою місткістю 4000 і більше.

.3 Для суден, які перевозять водяний баласт в танках для нафтового палива, мінімальна місткість танка для нафтових залишків (нафтовмісних осадів) ( $V_2$ ) повинна розраховуватися за формулою:

$$V_2 = V_1 + K_2 \times B, \text{ м}^3$$

де:

$V_1$  – місткість танка для нафтових залишків (нафтовмісних осадів),

$K_2 = 0,01$  – для танків важкого нафтового палива або

$0,005$  – для танків дизельного палива;

$B$  – місткість танків для водяного баласту, які можуть також використовуватися для нафтового палива, (т).

2.1.4 Конструкція танків для нафтовмісних відходів.

2.1.4.1 Збірні танки для нафтовмісних відходів можуть бути вкладними або убудованими.

Конструктивні елементи убудованих танків повинні відповідати:

– для морських суден – вимогам частини II «Корпус» Правил класифікації та побудови морських суден;

– для суден змішаного плавання (ріка-море) – вимогам частини II «Корпус» Правил класифікації та побудови суден змішаного плавання.

2.1.4.2 Збірний танк нафтовмісних відходів повинний бути обладнаний:

.1 горловиною для огляду і очищення;

.2 повітряною трубою;

.3 системою для підігріву, у відповідності з 2.1.2.3, 2.1.4.4, якщо збірні танки стикаються із середовищем або приміщеннями з мінусовою температурою, або якщо на судні застосовується важке паливо;

.4 світловою і звуковою сигналізацією, що спрацьовує при заповненні його на 80%, за винятком танків, розташованих у подвійному дні.

2.1.4.3 Внутрішні поверхні днища і вертикальні стінки танків для збирання нафтовмісних відходів, за винятком убудованих танків, як це визначено в 2.1.4.1, повинні бути гладкими (зовнішній набір). При цьому днище повинне мати ухил в сторону приймального патрубку.

2.1.4.4 Танки для накопичення осадів сепарації повинні бути обладнані системами підігріву. При цьому труби підігріву повинні бути розміщені таким чином, щоб, починаючи з вхідного отвору, вони розташовувалися по периметру танка і далі поперек всієї площі днища на висоті достатній, щоб уникнути повного їх покриття донними осадами.

Система підігріву танка повинна бути сконструйована таким чином, щоб забезпечити підігрів осадів до температури 60°C.

Усмоктувальний трубопровід від танка до насосу повинний бути оснащений підігрівниками по всій довжині.

Верхня частина танків для збирання нафтовмісних відходів повинна бути оснащена паропроводом для очищення.

2.1.4.5 Горловини танка для накопичення осадів сепарації повинні забезпечувати доступ у кожний район танка. Для забезпечення використання погрузного насоса одна із горловин повинна бути розташована у верхній частині танка.

2.1.4.6 Танк для накопичення осадів сепарації повинний бути розташований безпосередньо під сепаратором важкого палива. Якщо це неможливо, тоді танк для накопичення осадів сепарації повинний бути розташований поблизу сепаратора важкого палива таким чином, щоб зливальний трубопровід, який веде

в танк, мав максимально можливий ухил, атакож був, по можливості, прямим або мав коліна великого радіусу.

2.1.4.7 Танк для накопичення осадів сепарації повинний бути сконструйований таким чином, щоб осади сепарації мали вільний доступ до усмоктувальної магістралі. Якщо це неможливо, отвір усмоктувальної магістралі або погрузний насос повинні бути розташовані так, щоб шлях переміщення осадів сепарації доусмоктувального отвору був як можливо коротше.

2.1.5 Насоси, трубопроводи і системи скидання в машинних приміщеннях.

2.1.5.1 На судах, енергетичні установки яких працюють на рідкому паливі (судновому дизельному паливі, залишковому рідкому паливі і/або важкому дизельному паливі), повинна(і) бути передбачена система(и) для обробки зберігання нафтовмісних трюмних вод і нафтових залишків (нафтовмісних осадів).

Система(и) для обробки і зберігання нафтовмісних трюмних вод повинна бути постачена насосом(и) для збирання нафтовмісних трюмних вод в танк(и) нафтовмісних трюмних вод і зливання їх вмісту в приймальні споруди, який задовольняє вимоги 2.1.5.8.

Система(и) для обробки і зберігання нафтових залишків (нафтовмісних осадів) повинна відповідати положенням 2.1.5.7.

2.1.5.2 Повинна бути передбачена можливість рециркуляції стоку із обладнання на  $15\text{млн}^{-1}$  в стічний танк або збірний танк для нафтовмісних трюмних вод.

2.1.5.3 Якщо установлений убудований насос, скидання не повинне здійснюватися в обхід обладнання на  $15\text{млн}^{-1}$ .

2.1.5.4 Система відливного трубопроводу обладнання на  $15\text{млн}^{-1}$  повинна бути повністю окремою від системи осушення і системи баластних вод, за винятком рециркуляційного трубопроводу, зазначеного в 2.1.5.2.

2.1.5.5 Судновий відливний трубопровід нафтовмісних відходів, підключений до стандартного зливального з'єднання (див. 2.1.8.1), не повинний

з'єднуватися з будь-якою системою, іншою ніж призначеною для видалення нафтових залишків (нафтовмісних осадів) і/або нафтовмісних трюмних вод.

2.1.5.6 Танк(и) для нафтових залишків (нафтовмісних осадів) не повинні мати відливних з'єднань із стічною системою, танком(и) нафтовмісних трюмних вод, настилом другого дна або судновою установкою очищення нафтовмісних вод на  $15\text{млн}^{-1}$ .

Як виняток, можуть передбачатися пристрої для зливання відстояної води в танк нафтовмісних трюмних вод або стічний колодязь, за допомогою клапанів, які самі закриваються, з ручним керуванням і пристроєм для наступного візуального контролю за відстієм води, або аналогічні пристрої, що виключають з'єднання безпосередньо з трубопроводами стічної системи.

2.1.5.7 Система (трубопровід) нафтових залишків (нафтовмісних осадів) повинна бути обладнана:

насосом(и) збирання нафтових залишків (нафтовмісних осадів), який здатний брати/приймати нафтові залишки (нафтовмісні осадки) із будь-якого обладнання або танка, іншого ніж танк(и) нафтових залишків (нафтовмісних осадів), і скидати тільки в танк(и) нафтових залишків (нафтовмісних осадів). Насос повинний відповідати вимогам 2.1.5.8, мати достатній напір і подачу, що забезпечує переміщення добового вироблення нафтових залишків(нафтовмісних осадів) на судні;

насосом(и) скидання/видачі нафтових залишків (нафтовмісних осадів), нагнітальна частина насоса повинна бути підключена до стандартного з'єднання на палубі і до танку(ів) нафтових залишків (нафтовмісних осадів) і/або до іншого обладнання по видаленню нафтовмісних осадів.

Насос повинний відповідати вимогам 2.1.5.8, мати достатній напір і подачу, що забезпечує осушення /спорожнювання танка за період часу від 4 до 8 годин.

2.1.5.8 Насос, придатний для перекачування високов'язких нафтовмісних осадів, повинний бути самоусмоктувальним, володіти здатністю працювати в режимі сухого тертя і мати тиск нагнітання не менше 0,4МПа.

Подача насоса в  $\text{м}^3/\text{год}$  може бути розрахована за формулою:

$$Q = V / t,$$

де:  $V$  - мінімальна місткість танка для нафтовмісних осадів, яка визначається згідно 2.1.3.1;  $t$  - час спорожнювання, рівний 4 години.

2.1.5.9 Відсепарована брудна вода і відпрацьована контрольна вода із паливоочисників (сепараторів палива/масла) повинна скидатися у спеціальний танк, передбачений для цієї мети, для зведення до мінімуму надходження в танк відсепарованих осадів. Цей спеціальний танк повинний розташовуватися над подвійним дном з метою полегшення його осушення без необхідності застосування осушувального насоса. Якщо брудна вода і відпрацьована контрольна вода із паливоочисників скидається не в спеціальний танк, а замість нього – в танк для відсепарованих осадів, цей танк повинний розташовуватися над подвійним дном з метою зазначеного вище полегшення його осушення.

2.1.5.10 Установлені на судні трубопроводи систем нафтовмісних відходів, повинні гарантувати безпеку в критичних ситуаціях, таких як пожежа або затоплення, ефективно і швидко блокувати такі критичні ситуації, отже, відповідати застосовним вимогам підрозділу 4.3 і розділу 5 частини VIII «Системи і трубопроводи» Правил класифікації та побудови морських суден.

2.1.5.11 Судна, які мають трубопровідне з'єднання танків для нафтовмісних осадів з забортними зливальними отворами, установленими до 4 квітня 1993 року, які не є стандартними зливальними отворами, відповідними вимогам 2.1.8, повинні бути обладнані заглушками в цьому трубопроводі.

2.1.6 Суднова система для спалювання нафтовмісних осадів.

2.1.6.1 На доповнення до обладнання машинних приміщень суден танками для нафтових залишків (нафтовмісних осадів), ще одним засобом видалення нафтових залишків (нафтовмісних осадів) є інсинератори нафтовмісних осадів.

2.1.6.2 Інсинератори нафтовмісних осадів та їх системи повинні відповідати вимогам 2.4.41–2.4.44 частини IV «Вимоги щодо запобігання забрудненню сміттям» Правил.

2.1.6.3 Суднова система для спалювання нафтових залишків (нафтовмісних осадів) може бути виконана згідно положенням «Переглянутого



керівництва 2008 року по системах поводження з нафтовмісними відходами в машинних приміщеннях суден, що включає інструкції по інтегрованій системі обробки нафтовмісних трюмних вод (IBTS)», прикладеного до циркуляру МЕРС.1/Circ.642.

2.1.7 Суднова інтегрована система обробки нафтовмісних трюмних вод (IBTS).

2.1.7.1 Для сприяння запобігання забрудненню нафтою із машинних приміщень суден і зменшення навантаження на судновий персонал ефективним засобом є система IBTS, яка включає засоби для зведення до мінімуму кількості нафтовмісних трюмних вод і обробки нафтовмісних трюмних вод і нафтових залишків (нафтовмісних осадів).

2.1.7.2 54-а сесія КЗМС ІМО визнала необхідність поширення концепції суднової інтегрованої системи IBTS як радикальної для розв'язання проблеми запобігання забрудненню нафтою із машинних приміщень суден, для суден, кілі яких закладені 1 січня 1992 року або після цієї дати, і, якщо це практично здійснено, суден, які уже перебувають в експлуатації.

2.1.7.3 Концепція інтегрованої системи обробки нафтовмісних трюмних вод (IBTS) викладена в Додатку «Керівництво по інтегрованій системі обробки нафтовмісних трюмних вод (IBTS)» до «Переглянутого керівництва 2008 року по системах поводження з нафтовмісними відходами в машинних приміщеннях суден», прикладеного до циркуляру МЕРС.1/Circ.642.

2.1.8 Стандартне зливальне з'єднання.

2.1.8.1 Кожне судно повинне бути обладнане трубопроводом для здавання трюмних вод машинних приміщень і відстійних танків у приймальні споруди. Трубопровід повинний бути виведений на обидва борта. На трубопроводі, що веде до зливального з'єднання, повинен передбачатися запірний пристрій з можливістю його пломбування.

В обґрунтованих випадках за погодженням з Регістром трубопровід може бути виведений на один борт.

Вихідні патрубки повинні установлюватися в зручних для приєднання шлангів місцях, обладнуватися зливальними з'єднаннями з фланцями у відповідності з рис. 4.1 і мати відмітні планки. Вихідні патрубки повинні бути обладнані глухими фланцями.

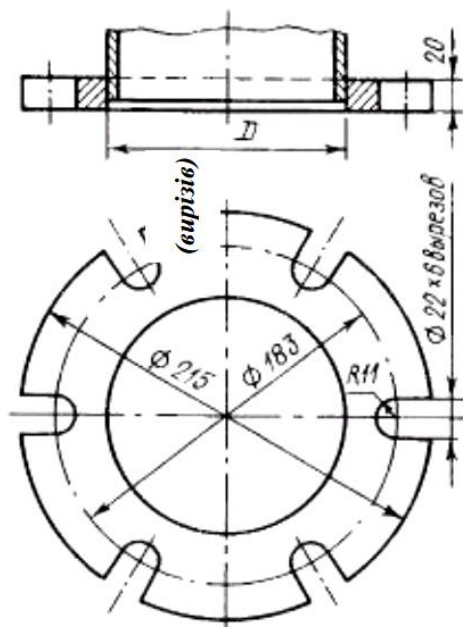


Рис. 4.1.

Примітка: Фланець призначений для труб з внутрішнім діаметром до 125мм, виготовляється із сталі або еквівалентного матеріалу з плоскою торцевою поверхнею. D— діаметр отвору в фланці, відповідний зовнішньому діаметру труби.

Цей фланець разом з прокладкою із нафтостійкого матеріалу розраховується на робочий тиск 0,6МПа.

З'єднання здійснюється за допомогою шести болтів необхідної довжини, діаметром 20мм.

2.1.8.2 Пуск і зупинка засобів, які відкачують, повинні виконуватися вручну.

В районі розташування вихідних патрубків повинне бути обладнане місце спостереження і дистанційного відключення засобів, які відкачують, або передбачений ефективний зв'язок (телефонний або радіо) між місцем спостереження за скиданням і місцем керування засобами, які відкачують.

## ВИСНОВКИ

1. Класифіковано різні типи ВП ГЕУ, при цьому особливе місце для завдання діагностичного забезпечення займає ВП ГЕУ змінного струму.
2. Проаналізовано надійність елементів ВП ГЕУ змінного струму за двома основними властивостями - безвідмовності, ремонтпридатності. Розглянуто чинники, що впливають на надійність елементів ВП ГЕУ при експлуатації, а також методи підтримки безвідмовності і підвищення ремонтпридатності ВП ГЕУ.
3. Досліджено причини, що призводять до зниження працездатності ВП ГЕУ.
4. Проаналізовано методи діагностування елементів ВП ГЕУ змінного струму. Всі ці методи дозволяють виявляти електричні і механічні дефекти ВП ГЕУ. Недоліками таких методів є неможливість визначення ступеня і запасу працездатності ВП ГЕУ. Для підвищення контролепридатності ВП ГЕУ необхідно розробити діагностичне забезпечення, яке дозволить визначати ступінь і запас працездатності ВП ГЕУ.
5. Сформована структурна схема ВП ГЕУ змінного струму з основними електромеханічними параметрами. Виділено особливості ВП ГЕУ як об'єкта діагностування.
6. Класифіковано різні діагностичні моделі ВП ГЕУ і вибір діаграми проходження сигналів як відповідної моделі для аналізу.
7. Побудовано структурні і функціональні схеми ВП ГЕУ змінного струму з асинхронним двигуном і з синхронним двигуном.
8. Розроблено діагностичні моделі ВП ГЕУ змінного струму з асинхронним двигуном і з синхронним двигуном у вигляді ДПС.
9. Розроблено алгоритм розрахунку чутливості частотних характеристик ФП ВП ГЕУ змінного струму з асинхронним двигуном і з синхронним двигуном.

10. Розроблено алгоритм перевірки ступеня працездатності ВП ГЕУ змінного струму який дозволяє визначити послідовність виконання перевірок окремих блоків ВП ГЕУ при зниженні його працездатності.

11. Визначено залежність ступеня працездатності ВП ГЕУ змінного струму від ступенів працездатності окремих діагностичних параметрів об'єкта, яка дозволяє дізнатися момент, коли необхідно здійснюватися перевірки ступеня працездатності окремих блоків.

12. Побудовано діагностичні моделі окремих компонентів на основі математичного опису та застосування процедур створення ієрархічних схем і проектів моделювання. Розроблено загальні схеми ВП ГЕУ змінного струму для дослідження його працездатності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Баранов А. П., Раимов М.М. Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации: Учебник для вузов. СПб.: Элмор, 1997. - 232 с.
2. Башарин А. В. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов / А. В. Башарин, В. А. Новиков, Г. Г. Соколовский. – Л.: Энергоиздат., 1982. – 392 с.
3. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи / Л. А. Бессонов. – М.: Высш. шк., 1984. – 559 с.
4. Браславский И. Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод / И. Я. Браславский, З. Ш. Ишматов, В. Н. Поляков. – М.: Академия, 2004. – 256 с.
5. Биргер И.А. Техническая диагностика. - М.: "Машиностроение", 1978. - 240 с.
6. Богомолов В.С. Судовые энергетические установки подчиненного управления./ Ред. С.А. Горбунова; - Калининград: Кн. Изд-во. 1996. - 240 с.
7. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина". - Иваново, 2008. - 298 с.
8. Воскобович В.Ю. Моделирование гребных электрических установок с использованием системы Orcad. СПб.: ЗАО "Инсанта"/ Изд-во "Литера", 2008.-200 с.
9. Воскобович В.Ю., Королева Т.Н., Павлова В.А. Электроэнергетические установки и силовая электроника транспортных средств. / Под ред. Ю.А. Лукомского.// Учебное издание. - СПб.: "Элмор", 2001. - 384 с.
10. Горбунов Б.А., Савин А.С., Сержантов В.В. Современные гребные электрические установки судов. Л.: Судостроение, 1979. - 180 с.
11. Гребные электрические установки / В. В. Сержантов, В. В. Спешиллов. - Ленинград: Судостроение, 1970. - 200 с.
12. Ермолин Н.П., Жеринхин И.П. Надежность электрических машин. Л.: "Энергия", 1976.-248 с.

13. Зыков А.А. Основы теории графов. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. - 384 с.
14. Калявин В.П. Основы теории надежности и диагностики: Учебник. - СПб.: "Элмор", 1998. - 172 с.
15. Калявин В.П., Мозгалеvский А.В. Технические средства диагностирования. - Л.: Судостроение, 1984. - 208 с.
16. Калявин В.П., Мозгалеvский А.В., Галка В.Л. Надежность и техническая, диагностика судового электрооборудования и автоматики: Учебник. - СПб.: "Элмор", 1996.-296 с.
17. Калявин В. П., Рыбаков Л.М. Надежность и диагностика элементов электроустановок: Учебное пособие. - СПб.: "Элмор", 2009. - 336 с.
18. Калявин В.П., Та Тхань Хай и др. Диагностическая модель исполнительного устройства гребной электрической установки постоянного тока // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». - СПб., 2011. - Вып.6. - С.56-61.
19. Кеон Дж. Orcad Pspice. Анализ электрических цепей (+DVD)/ - М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. - 640 с.
20. Клемперт А.Н. Надежность и техническая диагностика электроустановок. Екатеринбург. 2007 г.
21. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. - 2-е изд. Перераб. и доп. - М.: Энергоатомизд, 2001. - 704 с.
22. Кончаков Е.И. Техническая диагностика судовых энергетических установок: учеб. Пособие. - Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. - 112 с.
23. Королева Т.Н. Настройка и испытания судового электрооборудования. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2006. - 187 с.
24. Коршунов Л.П. Энергетические установки промысловых судов: Учебник. - Л.: Судостроение. 1991. - 306 с.
25. Мирошников А.Н., Румянцев С.Н. Моделирование систем управления технических средств транспорта. Учеб. издание.СПбГЭТУ. - СПб.: "Элмор", 1999. - 224 с.

26. Мозгалеvский А.В., Калявин В.П. Системы диагностирования судового оборудования: учеб. Пособие. - JL: Судостроение, 1987. - 224 с.
27. Мясников Ю.Н. Надежность и техническая диагностика судовых энергомеханических систем. - СПб.: ЦНИИ им. Акад. А.Н. Крылова, 2008.- 183с.
28. Полонский В.И. Гребные электрические установки. Изд-во "Морской транспорт", Ленинград, 1958.
29. Портнягин Н.Н. Пюкке Г.А. Теория и методы диагностики судовых электрических средств автоматизации. - Петропавловск - Камчатский: Камчат ГТУ, 2003,- 112 с.
30. Радин В.И. и др. Электрические машины: Асинхронные машины: Учеб. для электромех. спец. вузов / Радин В.И., Брускин Д.Э., Зохорович А.Е.; Под ред. И.П. Копылова - М.: Высшая школа 1988.-328с.
31. Разевиг В.Д. Система сквозного проектирования электронных устройств DesignLab 8.0. Изд-во "Солон-Р" Москва, 2000 г.
32. Розенвассер Е.Н., Юсупов Р.М. Чувствительность систем управления, М.: "Наука", Главная редакция физико-математической литературы изд-ва "Наука", М., 1981.-464 с.
33. Рукавишников С.Б. Автоматизированные гребные электрические установки: Учебник. - 3-е изд., перераб. и доп. - Л.: Судостроение, 1983. - 240 с.
34. Соколовский Г.Г. Теория и системы электропривода (электроприводы переменного тока): Учебное пособие/ СПбГЭТУ (ЛЭТИ), СПб., 1999. - 80 с.
35. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г.Г. Соколовский. - 2-е изд., испр. - М.: Издательский центр "Академия", 2007. - 272 с.
36. Справочник судового электротехника. В трех томах. Под ред. Г.И. Китаенко. Т.1. Судовые электроэнергетические системы и устройства. Л., "Судостроение", 1975.- 520 с.
37. Справочник судового электротехника. В трех томах. Под ред. Г.И. Китаенко. Т.2. Судовое электрооборудование. Л., "Судостроение", 1975. - 776 с.

38. Сюбаев М.А., Хайкин А.Б., Шеинцев Е.А. Аварии и неисправности в судовых электроустановках. - Л.: Судостроение, 1980. - 192 с.
39. Терехов В.М. Системы управления электроприводов: учебник для студ. высш. учеб.заведений / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова. - 2-е изд., стер. - М.: Издательский центр "Академия", 2006. - 304 с.
40. Токарев Л.Н. Математическое описание машин и регуляторов судовой энергетической системы переменного тока. Учебное пособие, "Ленинград" - 1990 г.
41. Токарев Л.Н. Программы расчета характеристик асинхронных двигателей. Санкт-Петербург, 2002 г.
42. Токарев Л.Н. Судовая электротехника и электромеханика./ Токарев Л.Н. - Санкт-Петербург: Береста, 2006. - 324 с
43. Эпштейн И. И. Автоматизированный электропривод переменного тока / И. И. Эпштейн. – М.: Энергоиздат, 1982. – 192 с.
44. Гандзюк М.П. Основи охорони праці. К; Каравела; 2005. – 408 с.
45. Закони України Про охорону праці: Закон України / Відомості Верховної Ради України. - 1992. - № 49, - Ст. 668.
46. Международная конвенція з охорони людського життя на морі - СОЛАС - 74 (SOLAS - 74), вид. 2008.
47. Международная конвенція про запобігання забруднення моря - МАРПОЛ - 73/78, вид. 2004.
48. Правила пожежної безпеки на морських судах України, НАПБ.Б. 01.013 - 2007. - Київ: Основа, 2007.
49. Правила запобігання забрудненню з суден. Регістр судноплавства України. Київ 2020, 237 с.